LES

CHEMINS DE FER

EN AMÉRIQUE

PARIS. — TYPOGRAPHIE A. LAHURE
Rue de Fleurus, 9

LES

CHEMINS DE FER

EN AMÉRIQUE

PAR

E. LAVOINNE
INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES

ET

E. PONTZEN
INGÉNIEUR, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

TOME PREMIER

CONSTRUCTION

TEXTE

PARIS
DUNOD, ÉDITEUR
LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES
49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

1880

INTRODUCTION

Un des faits qui frappent le plus l'attention du voyageur européen qui parcourt l'Amérique du Nord, c'est l'importance du rôle qu'y jouent les chemins de fer. La voie ferrée y est la voie de transport par excellence et universelle : elle ne sert pas seulement, comme en Europe, à relier des centres de population préexistants et à développer entre ces centres des relations que d'autres moyens de communication moins parfaits ont déjà permis d'établir ; en même temps qu'elle pénètre partout, sous la forme de tramways, à l'intérieur des villes où elle s'adapte à tous les besoins de la circulation locale, elle devance dans les solitudes à peine explorées de l'Ouest la population elle-même, et constitue en quelque sorte le premier acte de prise de possession de la civilisation sur les immenses territoires de l'Union américaine.

Sans ce merveilleux instrument qui, comme en Europe, n'a acquis toute sa puissance qu'après une longue série de tâtonnements, il serait tout à fait impossible de s'expliquer les rapides progrès de la colonisation aux États-Unis dans ces vingt-cinq dernières années : la vallée du Mississipi, et les contrées qui avoisinent les grands lacs, jusqu'alors occupées par des Indiens vivant en tribus peu nombreuses, et par de rares colons disséminés le long des grandes voies navigables, n'ont commencé à se remplir d'habitants et à se couvrir de cultures, qu'à partir du moment où l'extension du réseau des chemins de fer y a fait affluer l'émigration européenne en éta-

blissant partout des communications faciles et des débouchés permanents.

Les États plus anciennement colonisés de l'Est eux-mêmes ont dû à cette extension des chemins de fer un accroissement de prospérité en détournant par ce moyen à leur profit les grands courants commerciaux, qui, de la région des lacs et du bassin du Mississipi, tendaient à se porter naturellement vers l'embouchure du Saint-Laurent et vers le golfe du Mexique.

Les chemins de fer n'ont pas seulement favorisé dans l'Amérique du Nord l'accroissement de la population et de la richesse publique; ils ont encore exercé une influence considérable au point de vue social et politique.

Au point de vue social, les chemins de fer ont beaucoup plus fait que les institutions pour fusionner les populations et pour uniformiser les habitudes et les mœurs. Avant leur établissement, les colons, épars sur les différents points du territoire, étaient condamnés à un isolement relatif, et les divers États, jouissant chacun d'une grande indépendance, n'échangeaient entre eux que peu de rapports. Il en a été autrement, dès que les chemins de fer ont créé entre eux des rapports permanents et des intérêts communs: par suite de la fréquence des rapports entre les habitants des divers États, et de la multiplicité des associations de toute espèce auxquelles la construction et l'exploitation des voies ferrées ont donné lieu, il s'est fait entre les populations un mélange beaucoup plus intime, dont le résultat a été d'assurer aux éléments les plus énergiques et les plus actifs, empruntés surtout aux États de l'Est, où ont d'abord surgi les chemins de fer, une prépondérance marquée, qui s'est fait sentir aussi bien dans les relations sociales que dans le monde des affaires. En dehors même des États de l'Union, dans les possessions anglaises du Canada, on constate, malgré la différence des régimes politiques, une transformation analogue, qui se traduit par une tendance toujours croissante à s'inspirer en toutes choses de l'exemple des Américains de l'Union plutôt que des traditions de la métropole, grâce aux relations établies par les chemins de fer, dont le matériel, le même pour les deux pays, témoigne de leur communauté de mœurs et d'habitudes.

Au point de vue politique, l'influence exercée par les chemins de fer n'est pas moins remarquable. En favorisant surtout le rapide développement des États de l'Ouest, on peut dire qu'ils ont détruit au profit de ceux-ci l'équilibre jusqu'alors existant sous le rapport de la population et de la richesse entre les États du Nord et ceux du Sud. Dans la guerre gigantesque qui a abouti à l'abolition de l'esclavage, les immenses ressources que l'exploitation des chemins de fer, parfois interrompue sur quelques points, mais toujours rapidement rétablie, a permis de tirer du Nord et de l'Ouest, en hommes et en approvisionnements, ont puissamment contribué à assurer le triomphe de l'armée fédérale sur la sécession, à laquelle la destruction des voies ferrées, accomplie sur une grande échelle dans les États confédérés par les armées du Nord, a porté le dernier coup.

Déjà, même avant la fin de la guerre civile, le Congrès préoccupé de serrer plus fortement le lien qui unissait aux États du Nord et de l'Ouest les nouveaux États du Pacifique, demeurés fidèles à l'Union, avait marqué l'importance du rôle qu'à ce point de vue il attribuait aux chemins de fer, en votant l'établissement de la ligne du Pacifique, la seule qui ait jusqu'à ce jour été subventionnée en argent par le gouvernement fédéral.

Sur le territoire de la Confédération canadienne, c'est en décidant le prolongement, sous le nom d'Intercolonial railway, à travers les trois provinces de Québec, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, du chemin de fer déjà existant à partir de la frontière occidentale du Haut-Canada, que le gouvernement britannique a cru devoir assurer l'union effective des quatre principales provinces de cette Confédération et l'efficacité de leur défense en cas de guerre avec les États-Unis.

Les conditions dans lesquelles les chemins de fer ont été exécutés en Amérique et en Europe ne diffèrent pas moins que les rôles qu'ils ont été appelés à remplir.

S'étendant d'un Océan à l'autre, sans laisser pour ainsi dire de côté aucune des régions ouvertes à la colonisation, les chemins de fer nord-américains embrassent dans l'ensemble de l'Union américaine et des Canadas une superficie aussi grande que celle de l'Europe avec une population cinq fois moindre, répartie entre des

centres fort inégalement distribués, et séparés souvent par d'énormes distances, parfois par de véritables déserts ; ils ont en outre à franchir sur un grand nombre de points des obstacles naturels d'une importance considérable.

D'un autre côté, les ressources que les Compagnies ont pu se procurer pour la construction des chemins de fer, tant dans le pays que par des appels faits aux capitalistes étrangers, ont toujours été assez restreintes, et paralysées à diverses reprises par des crises commerciales et par la guerre civile.

Malgré ces circonstances défavorables, la construction des chemins de fer en Amérique a marché avec une rapidité sans exemple ; sur un développement total de 140 000 kilomètres, sensiblement égal à celui des chemins de fer européens, plus de la moitié ont été établis dans l'espace, de ces dix dernières années, et le chemin de fer du Pacifique, long de 2870 kilom. a été achevé en moins de quatre ans.

Il est clair que cette extension rapide des chemins de fer n'aurait pu être obtenue, si l'on s'était astreint à les établir de la même manière qu'en Europe. Aussi les Américains, avec cet esprit pratique, allant toujours droit au but qui caractérise généralement chez eux les applications des inventions modernes, ont-ils compris qu'ils avaient à adapter les chemins de fer à un ensemble tout différent de conditions économiques et sociales, et que pour en tirer le meilleur parti possible, ils devaient procéder tout autrement. Ayant pour objet principal la colonisation, c'est-à-dire la création de nouveaux centres de population là où il n'en existait pas encore et la mise en valeur de richesses naturelles jusqu'alors inexploitées, et ne pouvant par conséquent compter sur aucun produit certain dans un grand nombre de cas, les chemins de fer ont généralement été réduits tout d'abord au strict nécessaire pour la circulation de leur matériel spécial ; on a réservé à l'avenir le soin de les perfectionner et de les mettre en harmonie avec les exigences de la civilisation, après qu'ils auraient servi à développer les ressources du pays dans la mesure convenable pour permettre de satisfaire à ces exigences avec l'accroissement de leurs recettes.

Encore aujourd'hui, à côté de lignes construites et exploitées dans des conditions peu différentes de celles des chemins de fer européens, il n'est pas rare de rencontrer de ces chemins de fer rudimentaires établis sur le sol naturel, soit avec des rails et des traverses de rebut, soit avec de simples fers plats fixés sur des longrines, qui marquent comme la première des phases successives par lesquelles passera la ligne à mesure que croîtra son importance.

Les chemins de fer, en un mot, au lieu de se présenter uniformément sous les mêmes types arrêtés et définitifs qu'on leur connaît en Europe, ont le plus souvent un caractère plus ou moins provisoire dont le propre est de se régler toujours sur les besoins et sur les ressources du moment.

Ce caractère provisoire éclate surtout dans l'usage qui est encore fait tous les jours sur les lignes nouvelles des constructions en charpente pour tous les ouvrages qui se rattachent à l'établissement de la voie ferrée.

L'emploi du bois pour la construction de ces ouvrages n'est pas particulier à l'Amérique, et même en France on pourrait en citer quelques exemples sur les premiers chemins de fer construits; mais nulle part il n'a été généralisé comme en Amérique, dans le but de rendre l'exécution des travaux plus économique et plus rapide. Les ingénieurs américains n'ont pas seulement adapté à cet emploi pour la construction des ponts des types meilleurs que ceux que l'on connaissait jusqu'alors, et qui ont été ensuite étendus à la construction des ponts métalliques de grande portée; ils ont encore appliqué le bois sous forme de viaducs, de revêtements de souterrains et d'abris contre la neige, au passage des vallées et des chaînes de montagnes, et ces dernières applications n'ont pas peu contribué à la célérité avec laquelle les chemins de fer se sont développés d'une extrémité à l'autre du continent nord-américain.

En raison des systèmes de construction qui y ont été employés, et des difficultés résultant aussi bien de la grandeur des obstacles naturels et des espaces à franchir que des faibles ressources du pays, que leur établissement a eu à surmonter, les chemins de fer en Amérique présentent donc une physionomie particulière où se

reflète peut-être mieux encore que dans les institutions et dans les mœurs l'originalité propre de la nation américaine.

Si maintenant on passe à l'exploitation des chemins de fer, on n'y trouve pas un sujet d'études moins intéressant. On est tout d'abord frappé de voir que, malgré l'indépendance et la multiplicité des compagnies qui se partagent le réseau des voies ferrées, on s'est arrêté partout aux mêmes systèmes de rails et de matériel roulant. L'un et l'autre, en dépit de traditions différentes importées par les ingénieurs anglais, se sont presque immédiatement imposés comme les mieux appropriés aux conditions de l'établissement de la voie.

Il en est de même pour les installations spéciales destinées à accroître le bien-être des voyageurs dans les longs parcours auxquels ils sont souvent assujettis à travers des contrées dépourvues de toutes ressources, installations dont on cherche maintenant en Europe à imiter les dispositions sur certaines lignes.

Cette imitation, et l'emploi qui commence aussi à se répandre de ce côté de l'Atlantique, des freins continus à vide et à air comprimé, dont l'invention a eu principalement pour objet en Amérique de concilier les exigences de la sécurité avec l'économie de la construction et de l'exploitation, montrent d'ailleurs que les différences de construction du matériel roulant n'excluent pas la possibilité de faire à l'exploitation, telle qu'elle se pratique en Amérique, d'utiles emprunts.

En dehors de ces traits qui caractérisent l'ensemble des chemins de fer américains, la grande liberté qui dans tous les États a été accordée aux compagnies, tant pour leur organisation financière que pour l'établissement et l'exploitation des lignes, les essais qui ont été faits pour adjoindre, aux compagnies exploitantes proprement dites, d'autres compagnies leur servant d'intermédiaires en même temps que d'auxiliaires, la concurrence et l'accord intervenant à tour de rôle entre les compagnies rivales, les conséquences de ce régime, aussi bien pour l'industrie des chemins de fer en particulier que pour le commerce et l'industrie en général, concourent à faire des lignes américaines un vaste champ d'expériences, où en l'absence de tout obstacle apporté par les adminis-

trations et les préjugés locaux à la liberté d'action des compagnies, il est plus facile que partout ailleurs d'apprécier les bons et les mauvais effets des solutions adoptées et de démêler les tendances finales.

Si tous ces résultats sont loin d'être favorables, si trop souvent ils se sont traduits par des désastres financiers, si l'impulsion tout à fait excessive imprimée dans ces dernières années à la construction des chemins de fer a notablement contribué à aggraver la crise financière qui sévit depuis longtemps déjà aux États-Unis, et à provoquer ainsi finalement les scènes de violence dont ce pays a été récemment le théâtre, ce côté sombre du tableau ne doit pas faire perdre de vue les avantages que la diffusion des chemins de fer lui a procurés, ni le mérite de plusieurs innovations heureuses que l'influence de ce régime de liberté a fait éclore.

A ces divers points de vue, les chemins de fer Nord-Américains méritent donc d'attirer l'attention des ingénieurs européens. Dans le remarquable rapport de mission qu'il a publié en 1873 sur les États-Unis, et qui embrasse l'ensemble des travaux publics de ce pays, M. l'inspecteur général des ponts et chaussées Malézieux a consacré plusieurs chapitres aux progrès accomplis en Amérique par ce système de voies de communication, dont trente années auparavant M. Michel Chevalier avait déjà décrit les premiers essais. En Angleterre, en Allemagne et en Autriche, les chemins de fer Nord-Américains ont également fait l'objet d'intéressantes publications. Enfin l'exposition de Philadelphie en 1876 a été pour les ingénieurs européens une occasion d'en faire une étude plus complète et d'y constater de nouveaux perfectionnements.

C'est à l'aide de matériaux recueillis dans un voyage entrepris à cette occasion, et complétés par des renseignements fournis ultérieurement par divers ingénieurs américains, que nous avons entrepris le travail que nous soumettons aujourd'hui au public.

Nous citerons parmi les ingénieurs qui ont bien voulu nous prêter un concours dont nous sommes heureux de pouvoir ici les remercier, MM. John Bogart, G. Bouscaren, ancien élève de l'école centrale de Paris, O. Chanute, Th. C. Clarke, Col. W. P. Craighill, Ch. Mc. Donald, W. Eppelsheimer, W.W. Evans, Albert Fink, Ch. H.

Fisher, Sandford Fleming, Fred. de Funiak, E. Hemberlé, Clemens Herschel, Wm. R. Hutton, E. M. Saint-John, Ch. Latimer, J. H. Linville, Wm. Lorenz, S. S. Montague, E. P. North, T. E. Sickels, Shaler Smith, Frank Thomson, J. M. Wilson.

Indépendamment du rapport déjà cité de M. Malézieux, nous devons mentionner parmi les publications que nous avons consultées avec le plus de fruit : les *Transactions* de la Société américaine des ingénieurs civils, l'*Engineering* de Londres et le recueil périodique du *Railroad gazette*, publié à New-York par M. Forney ; — le Manuel des chemins de fer américains publié chaque année par M. H.V. Poor ; — le Manuel de construction des chemins de fer de M. G. Vose ; — le grand ouvrage que M. Drinker a fait paraître tout récemment sur la construction des tunnels ; — les articles intéressants d'un ingénieur allemand, M. Gleim, qui ont paru sur la construction des ponts amécains dans le journal des ingénieurs et architectes de Hanovre — le rapport très complet sur le même objet de M. le professeur Steiner, délégué du gouvernement autrichien à l'Exposition de Philadelphie ; — l'ouvrage de M. Comolli, traitant également des ponts américains ; — l'étude approfondie de M. Bartels, récemment publiée à Berlin sur l'organisation de l'exploitation des chemins de fer en Amérique.

LES

CHEMINS DE FER

EN AMÉRIQUE

CHAPITRE PREMIER

APERÇU GÉOGRAPHIQUE

La configuration des vastes contrées occupées aujourd'hui par les États-Unis et la Confédération des possessions britanniques de l'Amérique du Nord a eu sur le développement des chemins de fer aussi bien que sur les progrès de la colonisation une remarquable influence. Nous nous bornerons à la rappeler sommairement.

On sait que les deux chaînes des Alleghanies et des montagnes Rocheuses divisent l'Amérique du Nord en une grande région centrale aboutissant à ses extrémités au golfe du Mexique et à la baie d'Hudson, et deux versants latéraux plus étroits confinant aux océans Atlantique et Pacifique.

Tout l'espace autrefois couvert par l'Atlantique, qui se trouve compris entre ces deux chaînes de montagnes, ne forme pour ainsi dire qu'une immense plaine, se prolongeant jusque vers les régions arctiques, et à peine interrompue par les ondulations de faible hauteur qui, entre les 40e et 50e parallèles, dessinent les lignes de partage de trois grands bassins.

Le premier de ces bassins est celui du Mississipi qui occupe à lui seul la moitié de la superficie des États-Unis où il est compris presqu'en en entier. Cette superficie est elle-même environ les 4/5e de celle de l'Europe. Le cours du Mississipi ne mesure pas moins de 4210 kilomètres, et la largeur moyenne de son bassin dépasse 1600 kilomètres.

Le deuxième est celui des grands lacs, reliés entre eux par des canaux naturels, et formant jusqu'à l'Atlantique, avec ces canaux et le Saint-Laurent, une ligne navigable de 3200 kilomètres environ que se partagent les États-Unis et les possessions britanniques. Ces dernières s'étendent sur une superficie égale aux trois quarts de l'Europe, dont un quart environ est occupé par les deux Canadas, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse.

Le troisième bassin, entièrement contenu dans ces dernières possessions, et à peine exploré jusqu'à ce jour, qui verse ses eaux à la baie d'Hudson, comprend une multitude de lacs, dont le plus grand est le lac Winnipeg, où se jette le Saskatchewan, qui prend sa source dans les montagnes Rocheuses vers le 50e parallèle, et dont le cours a la même longueur que celui du Saint-Laurent, environ 2400 mètres[1].

Le sol, dans la plus grande partie du bassin du Mississipi, qui se trouve entièrement compris dans la zone tempérée, avec cette différence par rapport à l'Europe que les étés y sont plus chauds et les hivers plus rigoureux à égalité de latitude, est en général d'une très grande fertilité, qui en fait en quelque sorte la terre promise de l'émigration européenne.

C'est dans la partie supérieure de ce bassin, correspondant aux Etats d'Illinois, Iowa, Wisconsin et Minnesota, que l'accroissement de la population, pendant la période comprise entre les deux recensements de 1860-1870, a été le plus considérable.

La région des grands lacs et la vallée du Saint-Laurent sont également des pays agricoles des plus productifs; l'exploitation des forêts qui les entourent y vient encore accroître les ressources

1. Le tableau ci-après donne pour les trois grands bassins la longueur des cours d'eau et la superficie :

NOMS des cours d'eau.	LONGUEUR en kilomètres.	SUPERFICIE des bassins en kil. carrés.
Mississipi..........	4210	3 221 000
Saint-Laurent.....	2400	1 372 000 (avec les lacs.)
Saskatchewan............	2400	1 165 000

offertes à la colonisation par la culture des céréales expédiées en énormes quantités de cette région et de la partie septentrionale de la vallée du Mississipi vers les ports de l'Atlantique [1].

Les explorations récemment entreprises par l'ordre du gouvernement canadien dans la région comprise entre le lac Supérieur et les montagnes Rocheuses ont fait reconnaître la possibilité d'approprier à la même culture tout cet immense pays dont quelques portions seulement avoisinant la partie supérieure du bassin du Missouri seraient tout à fait stériles.

Jusqu'au 55e parallèle la température moyenne de l'été n'y est pas inférieure à celle que l'on rencontre près des grands lacs, c'est-à-dire dans le pays à blé par excellence, et les hivers n'y sont guère plus rigoureux [2].

Sur les pentes des Alleghanies et des montagnes Rocheuses, sur les bords des grands lacs, et dans la vallée du Mississipi, existent d'autre part des richesses minérales de premier ordre, parmi lesquelles il suffit de citer les gisements de houille des cinq bassins des Apalaches ou Alleghanies, du Michigan, de l'Illinois, du Missouri et du Texas, les sources de pétrole de la vallée de l'Alleghany et de la province d'Ontario, les minerais de cuivre du lac Supérieur,

---

1. Un relevé statistique publié récemment par le gouvernement français donne pour la production en céréales, dans ces dernières années, les chiffres suivants :

NOMS DES PAYS.	NOMBRE D'HECTOLITRES.
Russie	575 millions.
Allemagne	260 —
France	242 —
Autriche	193 —
Autres pays	487 —
Total pour l'Europe	1757 millions.
États-Unis	541 millions.
Dont en blé	126 —

Un chiffre de 525 millions d'hectolitres était déjà donné pour la production en céréales de États-Unis dans un rapport de M. Mac Alpine à la Chambre de commerce de New-York en 1871.

2. L'État de Minnesota, le plus septentrional des États-Unis avec l'État du Maine, est à la fois cité pour la rigueur de ses hivers et la qualité supérieure de ses blés.

les minerais de fer du même lac et ceux de l'Ohio, du Tennessee, du Missouri et de la Virginie occidentale[1].

Parcourues par une multitude de cours d'eau la plupart navigables, et pouvant diriger leurs produits soit vers l'Atlantique par le Saint-Laurent, soit vers le golfe du Mexique par le Mississipi, les vastes contrées comprises dans la région centrale de l'Amérique du Nord possèdent à la fois les moyens de nourrir une population égale à celle de l'Europe et les éléments d'un commerce considérable avec l'étranger. Nulle part les progrès de la colonisation n'ont été plus rapides ; plusieurs villes dont la plus ancienne compte à peine un siècle d'existence, — Saint-Louis, métropole commerciale de la vallée du Mississipi dont elle occupe le centre, — Chicago, principal entrepôt de la région des lacs, — Pittsburg, Cincinnati et Louisville, sur l'Ohio, centres manufacturiers qui s'accroissent tous les jours, dépassent ou égalent dès à présent en importance nombre de villes du littoral beaucoup plus anciennes [2].

Dans la plus grande partie de cette même région, les facilités que donne pour le tracé des chemins de fer le terrain généralement uni, où l'on rencontre seulement de place en place de légères ondulations (*bluffs*), permettent de remédier dans des conditions particulièrement favorables aux inconvénients qui peuvent résulter pour les transports de l'intermittence de la navigation interrompue

---

1. L'ensemble des bassins houillers couvre sur le territoire des États-Unis une superficie de 529 000 kilomètres carrés, c'est-à-dire un espace vingt-cinq fois plus considérable qu'en Angleterre. Le seul bassin des Apalaches, s'étendant parallèlement à la chaîne des Alleghanies depuis le nord de la Pennsylvanie jusqu'à l'Alabama, mesure une étendue de 154 500 kilomètres carrés.

La production de la houille a atteint aux États-Unis en 1875.	50 000 000	tonnes.
Celle du pétrole.	1 450 000	—
— de la fonte.	2 260 000	—
— de l'acier	290 000	—

2. Le tableau ci-après donne les populations, en 1876, de ces villes :

NOMS DES VILLES.	DATE de la fondation.	NOMBRE d'habitants en 1876.
Saint-Louis.	1764	460,000
Chicago	1833	395,000
Cincinnati	1800	275,000
Pittsburg	1765	200,000
Louisville	1810	100,000

pendant près de six mois par les glaces dans la partie supérieure de la vallée du Mississipi et dans le bassin du Saint-Laurent, ainsi que des dangers auxquels elle est exposée par les rapides et les écueils dont sont parsemés les cours d'eau.

Les deux chaînes de montagnes qui, à l'Est et à l'Ouest, circonscrivent la région centrale que nous venons de décrire, opposent aux communications des obstacles d'une valeur fort inégale. Elles ont d'ailleurs cela de commun que, parallèles l'une et l'autre au littoral dont elles sont très rapprochées, elles présentent vers les deux océans des versants beaucoup plus inclinés et plus accidentés que vers l'intérieur.

Les Alleghanies qui ont servi pendant longtemps de limite occidentale aux colonies britanniques, devenues plus tard les treize premiers États de l'Union, forment une série de chaînes parallèles correspondant aux divers plissements des couches de terrains primitifs qui les constituent, et s'étendant depuis la province britannique du Nouveau-Brunswick jusqu'à l'Alabama. Les points les plus élevés de ces chaînes, situés dans le New-Hampshire et la Caroline du Nord, ne dépassent pas une altitude de 2100 mètres; elles sont interrompues de place en place par de profondes trouées par lesquelles se font jour les principaux cours d'eau tributaires de l'Atlantique: tels sont les défilés qui donnent passage à la rivière James et au Potomac dans la Virginie et le Maryland, à la Susquehanna et à la Delaware en Pennsylvanie, à l'Hudson dans l'État de New-York. Près d'Albany sur l'Hudson, le massif des Alleghanies s'abaisse à une centaine de mètres au-dessus du niveau de la mer: cette dépression a été utilisée pour le tracé du canal Érié, le plus grand ouvrage de navigation intérieure qui ait été construit en Amérique.

Toute la zone formant le versant oriental des Alleghanies, généralement accidentée et découpée par de profonds estuaires où se trouvent d'excellents ports, depuis l'embouchure du Saint-Laurent jusqu'à la baie de Chesapeake, puis plate et marécageuse au-delà, est loin d'être aussi bien partagée au point de vue de la richesse agricole que la vallée du Mississipi.

Dans les États de New-York et de New-Jersey ainsi que dans la plupart des États de la Nouvelle-Angleterre, le sol, généralement granitique ou schisteux, est presque partout maigre et peu productif, et c'est de l'industrie manufacturière, favorisée par l'existence

de nombreuses chutes d'eau, que la population tire aujourd'hui ses principales ressources; il en est à peu près de même pour la Pennsylvanie, dont le principal élément de prospérité est le vaste bassin houiller exploité dans les hautes vallées de la Delaware et de la Susquehanna. C'est surtout à partir du Maryland et de la Virginie, sur les terrains constitués en grande partie par des alluvions qui forment le long du littoral une zone de largeur croissante en allant vers le sud, que l'on rencontre les riches plantations de tabac, de coton et de riz. Les États qui occupent cette dernière partie du littoral de l'Atlantique, trouvant chez eux le moyen de se suffire et d'entretenir en outre un commerce très-actif avec l'Europe, devaient être pour ce motif moins portés à s'ouvrir des communications vers l'ouest que les États du Nord, qui y ont été en quelque sorte contraints par le besoin de suppléer à la médiocrité des ressources qu'ils pouvaient tirer de leur sol.

Sur le côté opposé de la vallée du Mississipi, le massif des Montagnes Rocheuses forme un rempart bien plus difficile à franchir que la chaîne des Alleghanies. Ce massif, dont la plus grande épaisseur, qui est de 1600 kilomètres environ, correspond sensiblement au 38° parallèle, embrasse plusieurs chaînes de montagnes dont les plus élevées, les Montagnes Rocheuses proprement dites à l'est, et la Sierra Nevada à l'ouest, atteignent des hauteurs de 4200 mètres au-dessus du niveau de la mer, sans s'abaisser à cette latitude au dessous de 2000 mètres.

Toutefois, à mesure qu'il s'élève vers le nord, le massif des Montagnes Rocheuses, se retrécit et diminue progressivement de hauteur. Il s'abaisse à 1130 mètres au Col de la Tête Jaune, situé au 53e dégré de latitude; plus au nord, vers le 55e degré, au Col de Pine river, il peut être franchi à une altitude de 720 mètres seulement.

La chaîne des Montagnes Rocheuses est assez facilement accessible sur le versant oriental, grâce au glacis à pente presque insensible que forme de ce côté le sol de la région des prairies. A l'ouest de cette première chaîne, sur les deux versants des monts Wasatch qui occupent la partie centrale du plateau, le sol est extrêmement tourmenté, et il n'existe à travers les montagnes que des défilés étroits (*cañons*) par lesquels s'écoulent des cours d'eau torrentiels.

Cette région qui est un véritable désert, complètement impropre à la culture, à part quelques oasis comme celui du Lac Salé, se pro-

longe jusqu'à la chaîne du Nevada, dont les pentes sont beaucoup plus abruptes que celles des Montagnes Rocheuses, et qui présente en outre avec ces montagnes, au point de vue du climat, un remarquable contraste, par ses hivers beaucoup plus rudes et par la violence des ouragans de neige qui sévissent sur ses versants généralement plus boisés.

La plus grande partie du plateau compris entre la Sierra Nevada et les Montagnes Rocheuses, qui peut être considéré comme le prolongement du plateau central du Mexique, généralement stérile, est constituée par des roches contenant des minéraux de toute espèce : or, argent, mercure, cuivre, fer, houille, qui y attirent une population croissante, à mesure que les explorations minéralogiques s'étendent. Les États du Nevada, du Colorado, de l'Orégon et d'Utah, les territoires de Montana, Idaho et Arizona, le district de Carriboo dans la Colombie britannique, renferment tous aujourd'hui des exploitations de métaux précieux plus ou moins importantes [1].

L'étroite zone de 300 kilomètres de largeur environ, située au pied de la chaîne de la Sierra Nevada, qui forme la Californie, abritée du côté de la mer par la chaîne secondaire du Coast range, grâce à un climat exceptionnellement doux et à un sol qui se prête aux cultures les plus variées, après avoir été occupée tout d'abord uniquement par une population de mineurs, est devenue par le développement de son agriculture combinée avec l'exploitation de ses mines et de ses forêts, un des états les plus riches de l'Union, et l'ouverture du chemin de fer du Pacifique qui a fait de San Francisco l'entrepôt du commerce des États-Unis avec l'Asie et l'Australie, est venue y apporter un nouvel élément de prospérité.

Plus au nord, l'Orégon, le territoire de Washington et la Colombie britannique, moins favorisés sous le rapport du climat, bien qu'il soit moins rigoureux qu'à l'est des Montagnes Rocheuses, sont appelés à jouir en partie des mêmes avantages que la Californie.

Sur l'autre versant des Montagnes Rocheuses, nous avons déjà constaté entre les possessions britanniques et les états limitrophes de l'Union une grande analogie au point de vue de l'aptitude à la

---

1. La production de l'or et de l'argent en 1875, aux États-Unis, a été estimée à 125 millions de francs pour l'or et à 250 millions pour l'argent, soit à un quart de la production totale du globe pour le premier métal et aux deux tiers de cette production pour le second.

production agricole qui a fait de si grands progrès dans ces derniers États. Moins bien partagée que l'Union sous le rapport des richesses minérales, la Confédération canadienne est cependant loin d'en être dépourvue. Il existe dans la Nouvelle-Écosse et sur la côte du Pacifique dans l'île de Vancouver des gisements houillers extrêmement abondants, dans la province d'Ontario, des minerais de cuivre et de fer de première qualité, et des explorations récentes entre le lac Winnipeg et les Montagnes Rocheuses ont fait constater en un grand nombre de points la présence de la houille et du fer.

En résumé, l'Amérique du Nord, possédant dans sa région centrale d'immenses étendues propres à la culture, sur les versants des deux chaînes de montagnes qui circonscrivent cette région et sur les bords des grands lacs, les éléments d'une production minérale considérable, enfin sur la plus grande partie de son étendue, des voies navigables, et sur les deux Océans, d'excellents ports pour le commerce avec l'étranger, offre sur le territoire des deux confédérations un champ des plus vastes à la colonisation.

Le principal obstacle qui pouvait l'arrêter, l'insuffisance des voies de communication naturelles, devait être surmonté par l'établissement des chemins de fer dont nous allons maintenant succinctement esquisser l'histoire.

CHAPITRE II

HISTORIQUE

États-Unis[1].

Les chemins de fer ont parcouru successivement aux États-Unis trois périodes :

Une première période de tâtonnements pendant laquelle les chemins de fer, exécutés en général par tronçons isolés, et le plus souvent à titre de complément des voies navigables, sous le patronage des divers États de l'Union, ont été presque exclusivement construits sur le versant de l'Atlantique ; cette période, qui commence en 1825, finit vers 1845 en même temps qu'une crise commerciale prolongée qui arrête longtemps l'essor des chemins de fer ;

Une deuxième période, s'étendant depuis 1845 jusqu'en 1865, époque de la fin de la guerre de Sécession, où s'exécutent à travers les Alleghanies pour se prolonger jusqu'au Mississipi les lignes à grand trafic destinées à attirer vers les ports de l'Atlantique le commerce de la région agricole des grands lacs et du haut Mississipi, en même temps que dans les États du Sud un certain nombre de lignes sont poussées jusqu'au golfe du Mexique[2] ;

Enfin une troisième période commençant en 1865, signalée à la fois par l'établissement de la ligne du Pacifique, par l'application sur une grande échelle des chemins de fer à la colonisation des vastes territoires situés à l'ouest du Mississipi, et par une multiplication à outrance des voies ferrées dans un grand nombre d'États, qui finit par produire en 1873 une crise violente dont l'industrie des chemins de fer ne s'est pas encore remise aujourd'hui.

Première période. — Au moment où l'on inaugurait en An-

1. Il a été fait pour cet historique de nombreux emprunts au « Railroad manual » de M. Henry V. Poor pour 1876-1877.
2. On classe ordinairement les divers États et territoires de l'Union en cinq groupes composés ainsi qu'il suit :

gleterre le premier chemin de fer exploité par des locomotives, celui de Stockton à Darlington, il n'existait encore aux États-Unis d'autres voies de communication, en dehors des parties navigables du cours des rivières et des lacs, qu'un très petit nombre de routes de terre dont la plus importante, celle dite de Cumberland, de Baltimore à Saint-Louis, était restée inachevée, et qu'un canal, le canal Erié, reliant le lac du même nom avec l'Hudson près d'Albany, de 500 kilomètres de longueur. Bien qu'au début et à la fin de sa carrière militaire, Washington eût signalé aux législatures des divers États la nécessité de relier par un système de canaux la région des lacs et la vallée de l'Ohio aux ports de l'Atlantique, ce n'est qu'en 1816 qu'on avait commencé à entrer dans cette voie, sous l'impression de plusieurs désastres éprouvés par les troupes fédérales par suite de la difficulté des transports pendant la guerre soutenue en 1812 contre l'Angleterre. Cette difficulté était encore telle en 1825, que, d'après un rapport présenté à la législature de l'État de New-York, le trans-

Numéros des groupes.	DÉSIGNATION des groupes.	ÉTATS ET TERRITOIRES COMPRIS dans chaque groupe.	POPULATION		Accroissement pour 100.
			En 1860.	En 1870.	
1.	États du Nord ou de la Nouvelle-Angleterre.	Maine, New-Hampshire, Vermont, Massachusetts, Rhode-Island, Connecticut.	3,135,283	3,487,924	11
2.	États du Centre.	New-York, New-Jersey, Pennsylvanie, Delaware, Maryland, West-Virginie, et district de Colombie.	8,333,330	10,290,429	23
3.	États de l'Ouest.	Ohio, Michigan, Indiana, Illinois, Wisconsin, Minnesota, Missouri, Utah, Colorado, Iowa, Kansas, Nebraska ; territoires de Wyoming, Dakota, Montana, New-Mexico, et territoire indien.	9,264,782	13,229,348	42
4.	États du Sud...	Virginie, Caroline du Nord, Caroline du Sud, Georgie, Floride, Alabama, Mississipi, Louisiane, Texas, Kentucky, Tennessee et Arkansas.	10,259.016	10,808,397	5
5.	États du Pacifique.	Californie, Oregon, Nevada et territoires de Washington, Idaho, Arizona, Alaska.	450,910	742,273	64
		Population totale..	31,443,321	38,558,371	22

On désigne aussi souvent sous le nom d'États de l'Est la réunion des deux premiers groupes.

port d'une tonne de blé de Buffalo à New-York coûtait 500 francs, et demandait vingt jours.

L'ouverture du canal Érié, en abaissant immédiatement à 100 francs ce prix, et réduisant la durée du transport à huit jours, avait produit une véritable révolution dans l'industrie des transports; elle tendait en outre à faire du port de New-York l'unique entrepôt du commerce avec les États de l'Ouest, que s'étaient jusqu'alors partagé les divers ports de l'Atlantique. Pour ne pas rester en arrière, les États de Pennsylvanie, Maryland et Virginie, se décidèrent à entreprendre, à l'exemple de l'État de New-York, la construction de plusieurs canaux destinés à relier l'embouchure de la Delaware et la baie de Chesapeake à la vallée de l'Ohio et au lac Érié en traversant la barrière des Alleghanies; mais ils étaient loin, pour pouvoir franchir cet obstacle, de rencontrer sur leurs territoires des conditions aussi favorables que l'État de New-York, et l'achèvement des canaux, exécutés de part et d'autre des Alleghanies jusqu'au pied de ces montagnes, dut être indéfiniment ajourné en présence de la double difficulté de construire et d'alimenter les parties restées en lacune.

C'est alors que l'établissement des chemins de fer, dont on faisait l'essai en Angleterre, apparut comme le moyen le plus simple de combler ces lacunes. Il existait bien déjà en Amérique, sur un petit nombre de points, de courts tronçons de chemins de fer à traction de chevaux, notamment une ligne de 5 kilomètres servant à l'exploitation d'une carrière de granite à Neponset-river près de Boston, et une autre ligne très courte construite pour transporter les charbons de la mine au canal de la vallée du Lehigh en Pennsylvanie; mais on n'avait pas encore songé à en tirer parti pour de longs parcours. L'État de Maryland est le premier qui ait abordé la construction d'une grande ligne, celle du Baltimore et Ohio, destinée à compléter le canal de Chesapeake et Ohio, dont l'achèvement avait été considéré comme impraticable.

Une première section de cette ligne, entreprise en 1828, sur une longueur de 24 kilomètres, entre Baltimore et Ellicot's mills, fut ouverte en 1830; elle était établie avec de simples longrines, armées de bandes de fer, et elle fut exploitée avec des chevaux jusqu'en 1831. Des essais de traction par machines, pour lesquels on avait ouvert un concours, n'eurent pas de suite.

Le principe de l'adhérence paraît avoir été méconnu au moins

aussi longtemps en Amérique qu'en Europe, à en juger par la mise au rebut comme trop pesantes des premières locomotives essayées.

Ce n'est guère qu'en 1832 que l'usage de la locomotive commença à se répandre; encore crut-on devoir en limiter tout d'abord le poids à 3, puis à 6 tonnes. Jusqu'à cette époque, elle n'avait d'ailleurs été employée que sur les parties de voies de niveau ou à très faible pente.

Des machines fixes servaient à franchir les rampes un peu fortes. Un des premiers chemins de fer construits, celui du Mohawk et Hudson, ouvert en 1831, faisant actuellement partie du New-York Central, comprenait deux plans inclinés longs, l'un de 945 mètres, l'autre de 610 mètres, exploités par des machines fixes et entre lesquels une locomotive de 3 tonnes faisait le service.

A la même époque remonte le chemin de fer de la Caroline du Sud, commencé en 1830, et ouvert de Charleston à Augusta sur 216 kilomètres dès 1833, puis prolongé en 1839 jusqu'à Atlanta, capitale de la Georgie. C'est sur ce chemin de fer, le plus long qui eût encore été construit en Amérique, que circula la première machine exécutée dans ce pays sous le nom du « meilleur ami de Charleston » (*the best friend of Charleston*).

De 1830 à 1835, les chemins de fer se multiplient dans les États de Pennsylvanie, de New-Jersey, de New-York, de Massachusetts, mais surtout à l'état de tronçons isolés, le plus souvent destinés à relier deux voies navigables. Telles sont les lignes, construites par l'État de Pennsylvanie et ouvertes en 1834, du Philadelphia et Columbia Rail Road, entre la Delaware et la Susquehanna, et du Portage Rail Road réunissant à travers la chaîne des Alleghanies la Juniata, affluent de la Susquehanna au Conemaugh, tributaire du bassin de l'Ohio; dans le New-Jersey, la ligne de Camden à Amboy entre la Delaware et la baie de Raritan, également exploitée à partir de la même année; et dans l'État de New-York, celle du lac Cayuga à la Susquehanna, ouverte dès 1830.

Le chemin du Baltimore et Ohio se continue en même temps jusqu'à l'entrée des défilés des Alleghanies à Harper's Ferry, à 130 kilomètres de Baltimore (1833), et l'État de Massachusetts livre à l'exploitation en 1835 les trois lignes de Boston à Worcester, de Boston à Providence, et de Boston à Lowell, formant ensemble 183 kilomètres.

La crise financière qui se produit à partir de 1837 et qui se prolonge pendant près de dix ans, fait alors subir à la construction des

chemins de fer un certain ralentissement. Cependant quelques nouvelles lignes sont encore ouvertes sur divers points de 1840 à 1842; telles sont au nord les lignes de Boston à Buffalo par Albany et de Philadelphia à Reading, et au sud, celles de Richmond à Wilmington et d'Augusta à Savannah.

Vers l'année 1845, les États du versant de l'Atlantique se trouvent tous en définitive pourvus d'une certaine longueur de chemins de fer formant, par la réunion de leurs divers tronçons, un réseau à peu près continu du nord au sud depuis Boston jusqu'à Savannah. Aucune ligne de chemin de fer ne donne encore un accès direct aux produits des États de l'Ouest vers les ports de l'Atlantique; les chemins de fer, réduits au rôle de simples auxiliaires des voies navigables dans la plupart des directions, n'ont pas sensiblement accru les débouchés déjà existants.

Remarquons en outre que, jusqu'à cette époque, on n'a pas encore abandonné le système mixte de longrines en bois armé de bandes de fer, qui en n'admettant que l'emploi de machines légères, forçait de restreindre dans d'étroites limites la vitesse et la charge des trains, et de ne tirer ainsi des chemins de fer pour le transport des voyageurs et surtout des marchandises que des services très limités. Ces rails mixtes n'ont disparu complètement d'une des principales lignes de l'État de New-York, le New-York Central, qu'en 1850.

Deuxième période. — La fin de la crise financière, qui avait si longtemps paralysé toutes les entreprises, marque pour les chemins de fer le commencement d'une ère nouvelle. En même temps que le rail à patin prend résolument la place du rail en fer et bois, les grandes lignes commerciales entre les États de l'Est et de l'Ouest ne tardent pas à s'achever. Dans l'État de New-York, les deux lignes de l'Erié et du New-York et Hudson Central, achevées en 1851, viennent disputer au canal Erié le transport des grains et des bois de la région des lacs. En 1853, le chemin de fer de Baltimore et Ohio, longtemps arrêté au passage des montagnes du Cumberland, atteint enfin la vallée de l'Ohio à Wheeling; en 1854, le chemin de fer du Pennsylvania Central commence à être exploité depuis Philadelphie jusqu'à Pittsburg et quatre ans plus tard, en 1858, il est prolongé jusqu'au lac Michigan à Chicago par la ligne de Pittsburg, Fort-Wayne et Chicago. Dès 1852, Chicago avait déjà été mis en communication directe avec New-York et Boston par l'achèvement

de la ligne du Lake-Shore et Michigan-Southern partant de Buffalo pour s'étendre par Cleveland et Toledo jusque vers l'extrémité méridionale du lac Michigan.

Diverses lignes dans les États d'Ohio, d'Indiana et d'Illinois sont en même temps construites pour relier les précédentes entre elles et les prolonger jusqu'au Mississipi, atteint en 1854 et 1855 par les deux lignes de Chicago à Rock-Island et à Alton, et en 1857 par la ligne de Cincinnati à Saint-Louis.

L'achèvement de cet ensemble de lignes entre la vallée du Mississipi et le littoral de l'Atlantique, a pour résultat de détourner de sa voie naturelle le commerce de la plus grande partie de cette vallée, qui, après s'être fait principalement jusqu'alors par le cours du Mississipi et par le port de la Nouvelle-Orléans, passe dès lors aux ports de New-York, Philadelphie et Baltimore.

Vers la même époque, l'établissement des lignes de Labrosse à Milwaukee (Wisconsin), d'Hannibal (Illinois) à Saint-Joseph (Missouri), et de l'Illinois-Central depuis la frontière du Wisconsin jusqu'à Cairo (Illinois), au confluent de l'Ohio et du Mississipi, vient compléter le réseau des chemins de fer de la partie septentrionale de la vallée du Mississipi, et frayer à la colonisation la route de la vallée du Missouri.

Les États du Sud poursuivent de leur côté, bien qu'avec une moindre activité que les États du Nord et de l'Ouest, la continuation des lignes commencées. Dans la direction de l'est à l'ouest, la ligne déjà ouverte entre le port de Charleston et Atlanta est prolongée par un embranchement vers le Tennessee, où elle atteint d'abord en 1850 Chattanooga, puis en 1853 Nashville, et enfin en 1857 Memphis sur les bords du Mississipi. Cette ligne, qui relie la vallée du Mississipi au littoral de l'Atlantique à travers les États du Sud, se trouve ainsi achevée trois ans après que le Mississipi était déjà atteint par la première des lignes partant des grands ports du nord.

Du nord au sud, un autre embranchement réunit dès 1853 Atlanta à Montgomery, capitale de l'Alabama; mais ce n'est qu'en 1859 qu'une première voie ferrée vient aboutir au golfe du Mexique, par suite de l'ouverture de la ligne du Mobile et Ohio, partant de Columbus près de Cairo pour se terminer au port de Mobile. La même année s'ouvre dans la même direction une autre ligne, devenue aujourd'hui l'une des plus importantes de la partie centrale

du bassin du Mississipi, celle de Louisville à Nashville, prolongée plus tard par deux embranchements jusqu'à Montgomery au sud, et jusqu'à Memphis à l'ouest.

Enfin, c'est en 1859 et 1860 que s'ouvrent successivement les deux lignes de New-Orléans, Jackson et Great-Northern, et du Mississipi Central qui, en venant aboutir à Cairo, terminus de l'Illinois Central, mettent en relations par voies ferrées avec le port de la Nouvelle-Orléans la vallée du Mississipi tout entière.

A la fin de cette deuxième période, dans la dernière partie de laquelle la guerre civile vient interrompre pendant quatre ans presque tous les travaux, les États du Sud, qui au début avaient marché de pair avec les États du Nord, et pris les devants sur les États de l'Ouest, où l'on ne comptait en 1845 que 602 kilomètres de voies ferrées, se sont laissé notablement distancer par ceux-ci; ils n'ont ajouté à leur réseau en vingt ans que 13 000 kilomètres, tandis que les États de l'Ouest en ont construit 20 000, c'est-à-dire tout juste autant qu'en possédaient à la fin de la même période tous les États de l'Est réunis.

L'émigration européenne, arrivant à flots pressés dans la partie supérieure de la vallée du Mississipi, y a imprimé pendant cette période au développement des voies ferrées une impulsion beaucoup plus rapide que celle qu'il pouvait recevoir, soit dans les États de l'Est, qui versaient eux-mêmes dans les régions de l'Ouest le surcroît de leur population, soit dans les États du Sud, condamnés par l'esclavage à l'état stationnaire avant d'être ruinés par la guerre civile. En même temps des relations commerciales d'une importance toujours croissante ont créé entre les États de l'Ouest et de l'Est une communauté d'intérêts et de vues que la guerre de sécession ne fait que rendre plus étroite.

Troisième période. — A partir de la fin de la guerre civile, pendant laquelle une longueur considérable de chemins de fer est détruite à plusieurs reprises dans les États de Maryland, Virginie, Tennessee, Georgie et Caroline du Nord, une nouvelle période d'activité s'ouvre pour l'industrie des chemins de fer, principalement dans les États de l'Est et de l'Ouest et du Pacifique, peu éprouvés par la guerre. La nation américaine se porte avec d'autant plus d'énergie vers les entreprises de chemins de fer, destinées à favoriser la mise en valeur de son immense territoire, qu'elle semble re-

noncer à réparer les désastres infligés à son commerce maritime par cette guerre.

Le Congrès n'avait pas attendu la fin de la guerre pour décider la construction d'une ligne destinée à relier par une voie ferrée de près de 3000 kilomètres de longueur les États situés sur les bords de l'océan Pacifique avec ceux de l'Ouest. Les travaux, partagés entre les deux Compagnies de l'Union pacific et du Central pacific, et commencés en 1863, sont poursuivis avec une activité jusqu'alors sans exemple à travers des pays déserts et sans ressources, au milieu de difficultés de toute espèce; ils s'achèvent le 9 mai 1869 par la jonction des deux lignes à Promontory Point sur les bords du Lac Salé. Cette jonction réduit à sept jours la durée du trajet d'un océan à l'autre [1]. En même temps la construction de plusieurs ponts sur le Mississipi, puis sur le Missouri, franchis par la voie ferrée pour la première fois, l'un en 1865 à Clinton (Iowa), l'autre à Kansas City (Missouri) en 1869, vient ouvrir aux chemins de fer l'accès de la vaste région des prairies, où ne tardent pas à être commencées plusieurs lignes parallèles à la ligne d'Omaha à San-Francisco, destinées comme elle à favoriser les progrès de la colonisation dans cette région et à se prolonger plus tard jusqu'à l'océan Pacifique. Telles sont les lignes, dotées par le Congrès d'importantes concessions de terres, du Kansas Pacific, ouverte entre Leavenworth (Kansas) et Denver, capitale du Colorado, en 1870, et d'Atchison, Topeka et Santa-Fé, partant également du Missouri pour se diriger vers le nouveau territoire du New-Mexico. Cette dernière ligne atteint en 1875 dans le Colorado la ville de Pueblo, qu'un chemin de fer transversal passant par Denver relie un peu plus tard à l'Union Pacific.

Du nord au sud sur la rive droite du Mississipi, dans la partie inférieure du cours de ce fleuve, d'autres lignes sont également entreprises en vue de la colonisation des plaines de l'Arkansas et du Texas, et reçoivent aussi pour ce motif des concessions de terre du gouvernement des États-Unis : telles sont les deux lignes de Saint-Louis, Iron-Mountain et Southern, et de Missouri, Kansas et Texas, partant l'une de Saint-Joseph sur le Missouri, l'autre de Saint-Louis sur le Mississipi, pour gagner à Dennison et Texarcana

1. Le trajet a pu être accompli au mois de juin 1876, en moins de 84 heures, par un rain spécial marchant à la vitesse de 64 kilomètres par heure y compris les arrêts.

la frontière septentrionale du Texas, où elles doivent se souder à un réseau de voies ferrées se prolongeant dans ce dernier État jusqu'au golfe du Mexique.

Enfin dans tous les États de l'Ouest à la fois, notamment dans l'Illinois, l'Iowa, le Wisconsin, le Minnesota, le Missouri, ainsi que sur les bords du Pacifique, principalement de 1870 à 1875, les chemins de fer se multiplient avec une rapidité vertigineuse, sous l'impulsion d'une immigration toujours croissante, qui semble ouvrir à leur extension une perspective sans fin. A la faveur des nouveaux tarifs douaniers arrêtés par le Congrès, de nombreuses usines se fondent, surtout dans les États de Pennsylvanie, Ohio, New-York et Michigan, pour appliquer à la fabrication des rails les nouveaux perfectionnements de la métallurgie. L'industrie de la construction des chemins de fer atteint son maximum d'activité en 1871, où la longueur totale des kilomètres construits s'élève pour une seule année à 12 348 kilomètres, soit aux trois quarts du nombre de kilomètres que possédait la France à pareille époque. A partir de ce moment, la faillite d'un grand nombre de Compagnies lancées dans les spéculations les plus hasardeuses, le malaise général des autres dont une concurrence effrénée réduit de plus en plus les recettes, contribuent avec une crise commerciale prolongée qui ralentit notablement le mouvement de l'immigration, à discréditer les entreprises de chemins de fer. Les tarifs ultra-protecteurs de l'Union, en fermant ses ports aux produits de l'Europe et privant par un juste retour les siens d'une partie des débouchés qu'ils pouvaient trouver au dehors, ont pour effet d'aggraver cette crise et de la rendre plus désastreuse pour les chemins de fer.

La construction des chemins de fer devient donc beaucoup moins active, et de 12 348 kilomètres en 1871, la longueur des nouvelles voies posées annuellement tombe à 2513 kilomètres en 1875.

Cette période de ralentissement est signalée par les premiers essais de chemins de fer à voie étroite faits principalement dans le Colorado, dans le but de ramener par l'espoir d'économies notables dans la construction et l'exploitation la confiance publique vers les entreprises de chemins de fer. Ce palliatif, tout à fait impuissant contre les principales causes du mal, n'est accepté qu'avec réserve. On en revient à la voie large pour les nouveaux chemins de fer présentant quelques chances de prospérité, comme ceux de l'État du Texas, actuellement en construction, et celui du Cincinnati-Sou-

thern, entrepris par la ville de Cincinnati pour attirer vers ce centre manufacturier important le commerce des États du Sud.

Actuellement, les chemins de fer ne sont pas encore sortis de la crise que nous venons de signaler, et qui ne pourra cesser que par le rétablissement de l'équilibre dans la situation économique du pays, que leur extension inconsidérée a contribué à troubler[1].

Les deux tableaux ci-après permettent de se rendre compte du développement progressif des chemins de fer dans les divers groupes d'États et de leur importance actuelle eu égard à la population et à l'étendue de ces groupes.

DÉSIGNATION DES GROUPES.	LONGUEURS EN KILOMÈTRES DES CHEMINS DE FER EXPLOITÉS		
	en 1845.	en 1865.	en 1875.
États de la Nouvelle-Angleterre.	1,566	6,173	9,077
États du Centre................	3,381	13,748	23,731
États de l'Ouest................	602	20,684	57,714
États du Sud..................	1,910	15,507	25,630
États du Pacifique.............	»	375	4,048
Totaux..................	7,459	56,489	120,200

1. Dans ces dernières années, la construction des chemins de fer n'a guère fait que suivre les progrès de la population, qui se sont ressentis du ralentissement de l'immigration, découragée par la continuation de la crise. On aura une idée de l'accroissement annuel du réseau des voies ferrées et de l'importance corrélative de l'immigration par les chiffres suivants, correspondant aux huit dernières années :

ANNÉES.	NOMBRE de kilomètres de voie ferrée construits.	NOMBRE d'immigrants débarqués à New-York.
1870	9,161	212,626
1871	12,348	227,359
1872	11,817	292,406
1873	6,252	270,516
1874	3,260	140,041
1875	2,513	84,560
1876	3,944	68,264
1877	3,672	54,536
1878	4,318	

Au commencement de 1879, il y aurait aux États-Unis, d'après M. H. Poor, un réseau

INDICATIONS.	ÉTATS de la NOUVᵉ-ANGLETERRE.	ÉTATS du CENTRE.	ÉTATS de L'OUEST.	ÉTATS du SUD.	ÉTATS du PACIFIQUE.	TOTAUX et MOYENNES.
Superficie en kilomètres carrés...	177,165	326,936	3,338,832	2,075,956	1,926,086	7,844,975
Nombre de kilomètres de chemins de fer.....	9,077	23,731	57,714	25,630	4,048	120,200
Nombre de kilomètres carrés de superficie correspondant à 1 kilomètre de voie...	19,5	13,8	57,8	81	475,5	65,3
Population......	3,768,441	11,197,569	15,469,800	12,150,328	1,149,580	43,785,718
Nombre d'habitants correspondant à 1 kilom. de voie.	415	472	268	474	284	364
Capital dépensé en francs.........	1,599,367,900	7,478,824,650	10,405,834,200	3,162,742,000	1,101,460,800	23,748,229,550
Prix de revient moyen du kilomètre en francs.	176,200	315,150	180,300	123,400	272,100	197,575

de 131 746 kilomètres de chemins de fer pour 48 millions d'habitants, et dans ces dernières années la population se serait accrue de 3 p. 100 par an, tandis que les chemins de fer s'accroissaient de 3 $\frac{1}{3}$ p. 100.

La proportion actuelle de 1 kilomètre de chemin de fer pour 364 habitants serait sen-

Possessions britanniques.

Dans les possessions britanniques, l'établissement des chemins de fer, plus tardif et moins rapide qu'aux États-Unis, présente deux périodes correspondant aux deux régimes politiques sous lesquels ces possessions ont été successivement placées.

Lignes construites avant la réunion des possessions britanniques en Confédération (1836-1867). — Les premiers essais de chemin de fer, au Canada, datent de 1836. Montréal, métropole commerciale du Canada, a été le point de départ de tous les premiers tronçons construits, qui, comme aux États-Unis, ont eu pour principal objet de relier des voies navigables.

C'est ainsi que le premier chemin de fer, ouvert d'abord en 1836 sur la rive droite du Saint-Laurent, de La Prairie, village situé en face de Montréal, à Saint-Jean, sur 16 kilomètres, est le commencement d'une ligne de 78 kilomètres destinée à relier cette ligne au lac Champlain, qu'elle atteint en 1852 à Rouse's Point. Vient ensuite la ligne ouverte d'abord, en 1847, de Montréal aux chutes de Lachine, sur la rive gauche du Saint-Laurent; puis, en 1852, de Caughnawaga à Plattsburg, sur la rive droite du même fleuve et faisant partie, comme la précédente, du chemin de fer de Montréal et Champlain, annexé aujourd'hui au Grand Trunk Railway; cette ligne aboutit au lac Champlain en franchissant la frontière américaine.

Une ligne plus importante, destinée à mettre Montréal en communication directe avec le littoral de la Nouvelle-Angleterre, où les ports n'ont pas l'inconvénient, comme ceux de l'embouchure du Saint-Laurent, d'être fermés par les glaces une partie de l'hiver, est celle de Montréal à Portland (Maine), ouverte d'abord de Montréal à

---

siblement la même qu'en 1875; elle est trois fois plus considérable que pour la Suède, le pays d'Europe où elle est la plus forte, et six fois plus grande que pour la moyenne de l'Europe où elle est environ de 1 kilomètre pour 2080 habitants.

Sur le total de 4318 kilomètres construits en 1878, il y en a 2481, c'est-à-dire plus de la moitié, à l'ouest du Mississipi. Les États, où il en a été construit le plus sont ceux de Minnesota, Iowa, Missouri, Colorado, Pennsylvanie, Kansas. Il en a été ouvert pour la première fois sur les territoires d'Idaho et d'Arizona. La part de la voie étroite a continué à s'accroître sur les nouvelles lignes; il en a été construit 1238 kilomètres en 1877 et 1401 kilomètres en 1878.

Saint-Hyacinthe, en 1847; prolongée ensuite jusqu'à Richmond, en 1852, et exploitée en totalité, à partir de 1853, sur 475 kilomètres. Elle est raccordée l'année suivante à Richmond, avec un embranchement aboutissant d'abord à la station de la pointe Lévi, en face de Québec; puis prolongée jusqu'à la rivière du Loup, près de l'embouchure du Saint-Laurent, sur 200 kilomètres, en 1860.

La ligne du Grand Trunk, concédée par un acte du Parlement anglais des 14 et 15 octobre 1851 à une Compagnie de capitalistes anglais, subventionnée par les gouvernements provinciaux du Canada, et appelée à constituer l'artère principale de cette colonie, englobe finalement tous les tronçons construits sur la rive droite du Saint-Laurent, à l'exception de quelques embranchements sans importance. Elle s'étend en outre rapidement sur la rive opposée, où elle ne tarde pas à dépasser la frontière entre les Haut et Bas Canada, et à arriver jusqu'à Toronto, capitale de la première de ces provinces (1856).

En 1859, le chemin de fer du Grand Trunk atteint à Sarnia, à l'extrémité sud du lac Huron, la limite du territoire canadien, et se prolonge, à travers le territoire de l'Union, jusqu'à Détroit, en même temps que la construction du grand pont tubulaire de Victoria, sur le Saint-Laurent, à Montréal, long de 2750 mètres, vient relier les tronçons des deux rives, qui forment à partir de 1860, sur le territoire canadien, une ligne continue de 1300 kilomètres, de Sarnia à Rivière-du-Loup. A ce réseau subventionné viennent se rattacher, de 1853 à 1855, deux autres lignes ouvertes également dans le Haut Canada, avec le concours du gouvernement provincial : le Northern Railway, de Toronto à la baie de Georgie, dans le lac Huron, et le Great Western Railway, partant de la chute du Niagara, où il vient se souder à la ligne américaine du New-York Central pour se prolonger jusqu'à Détroit. Divers embranchements de cette dernière ligne se dirigent ensuite vers Toronto, Guelph et Berlin, stations du Grand Trunk.

Quelques autres lignes secondaires indépendantes des précédentes, seules subventionnées par les gouvernements provinciaux, portent à un total de 3168 kilomètres le développement total des chemins de fer en exploitation en 1867, époque à laquelle les possessions britanniques de l'Amérique du Nord sont réunies en une Confédération s'administrant elle-même sous la direction d'un gouverneur nommé par l'Angleterre.

Lignes construites depuis l'organisation de la Confédération. — Avec la constitution du nouveau gouvernement, la construction des chemins de fer entre dans une nouvelle ère d'activité. Une des premières préoccupations de ce gouvernement est d'assurer, conformément aux engagements pris à l'égard de la métropole, la prompte exécution, sous le nom d'International Railway, d'une ligne reliant aux deux Canadas les provinces du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse. Le gouvernement fédéral entreprend lui-même, avec la garantie du gouvernement anglais, l'exécution de cette ligne, qui est terminée en 1876 jusqu'à Halifax, capitale de la Nouvelle-Écosse, avec divers embranchements dont les principaux sont dirigés vers Saint-John, capitale du Nouveau-Brunswick, et Pictou, centre du district houiller de la Nouvelle-Écosse.

D'autres lignes précédemment construites par des Compagnies particulières, notamment celles de Windsor à Annapolis, achevée en 1869 dans la Nouvelle-Écosse, de l'European et North-American, de Saint-John à Bangor (Maine), ouverte en 1871, et de Saint-Andrews à la frontière du Bas Canada, dans le Nouveau-Brunswick, en 1873, forment, avec l'Intercolonial, les éléments d'un premier réseau de chemins de fer dans ces deux provinces.

Dans l'île du Prince-Édouard, située au nord de la Nouvelle-Écosse, dont le gouvernement local avait entrepris la construction d'un chemin de fer à voie étroite de près de 300 kilomètres de longueur, le gouvernement fédéral du Canada, auquel cette île a fini par se rattacher, exploite depuis 1875 ce chemin de fer, placé désormais dans ses attributions.

Quelques années auparavant, dans le Haut Canada, on avait déjà appliqué la voie étroite à la construction de deux chemins de fer d'une certaine importance, reliant la ville de Toronto au lac Huron, le Toronto, Grey et Bruce, et le Toronto et Nipissing Railway, ouverts en 1871 et 1873; mais l'emploi ne paraît pas s'en généraliser. Par contre, le Grand Trunk, construit d'abord avec la voie de 5 pieds 6 pouces ($1^m,68$), est ramené à la voie de 4 pieds 8 pouces et demi ($1^m,44$), ainsi que l'Intercolonial, que l'on avait commencé à établir aussi avec la voie de 5 pieds 6 pouces.

Les chemins de fer continuent, sous le patronage du gouvernement fédéral et des gouvernements provinciaux, à progresser régulièrement au Canada, où, s'ils n'ont pas été poussés avec une vigueur aussi grande qu'aux États-Unis, ils paraissent en revanche

avoir eu beaucoup moins à souffrir du malaise produit par une multiplication trop rapide. Aujourd'hui les efforts du gouvernement fédéral canadien tendent principalement à créer sur son propre territoire une ligne réunissant les deux Océans : plusieurs explorations faites sur les deux versants des montagnes Rocheuses en ont démontré non seulement la possibilité, mais encore la facilité d'exécution, et il n'est pas douteux que ce gouvernement, qui est, grâce à la prospérité croissante du pays, en mesure de consacrer tous les ans un budget relativement considérable aux entreprises de travaux publics ne parvienne, sous l'impulsion de la colonisation qui gagne de plus en plus vers les régions fertiles de l'ouest, à réaliser son programme dans un avenir peu éloigné.

Dès à présent le Canada, qui possédait à la fin de 1875 un réseau de 7180 kilomètres de chemins de fer pour une population de 4 900 000 habitants environ, soit 1 kilomètre pour 687 habitants, occupe, au point de vue du développement des chemins de fer eu égard à la population, le premier rang après l'Union américaine [1].

1. Au commencement de 1878, le nombre de kilomètres exploités atteignait 9188 kilomètres d'après les derniers comptes rendus du gouvernement canadien.

PREMIÈRE PARTIE

INFRASTRUCTURE

CHAPITRE III

TRACÉS

Aussi bien qu'en Europe, les principes qui ont présidé à l'étude des tracés de chemins de fer en Amérique ont notablement varié, sous l'empire des progrès accomplis à la fois dans l'exploitation technique des chemins de fer et dans la connaissance de l'influence exercée sur les conditions de l'exploitation par les tracés.

Au début, pendant les longs tâtonnements qui ont précédé l'adoption définitive des locomotives, lorsque les chemins de fer étaient surtout employés à titre d'expédient pour remédier à la discontinuité des voies navigables, leur tracé a été le plus souvent déterminé de manière à relier ces voies de communication par le plus court chemin possible, sans dépasser pour les déclivités les limites étroites au delà desquelles on regardait alors la traction par locomotive comme impraticable, sauf sur un certain nombre de points où l'exploitation devait se faire au moyen de plans inclinés et de machines fixes.

De même que les premières routes de terre frayées en Amérique à travers les forêts, sous le nom de « *portages* », n'avaient eu d'autre but que de servir à effectuer d'un cours d'eau à un autre les transports qui ne pouvaient se faire par eau, un certain nombre de chemins de fer n'ont été tout d'abord que des « *portages* » perfectionnés appliqués à combler les lacunes de la navigation améliorée[1]. Ces chemins de fer, dont nous aurons à citer plus loin

---

1. Le nom de « *Portage Railroad* » donné à la première ligne ouverte à travers les Alleghanies en Pennsylvanie rappelle cette destination primitive des chemins de fer.

quelques exemples, reproduisent eux-mêmes jusqu'à un certain point la disposition des canaux et des rivières canalisées : leur division en une série de gradins à faibles déclivités séparés par des plans inclinés à fortes pentes, y rappelle la succession des biefs entre lesquels les écluses rachètent les chutes.

Ce n'est que plus tard, vers l'année 1835, lorsque la locomotive a démontré par une assez longue expérience son aptitude à gravir des rampes d'une certaine inclinaison, que le tracé des chemins de fer a été conçu par les ingénieurs américains dans des conditions mieux appropriées à l'emploi de ce nouveau moteur, et analogues à celles de l'établissement des grandes lignes européennes.

Des circonstances particulières ont toutefois contribué à imprimer au tracé des chemins de fer américains construits dans cette seconde période un caractère spécial.

Si l'on fait tout d'abord abstraction des considérations de l'ordre purement technique pour ne s'attacher qu'à celles d'intérêt public ou privé, il y a lieu de distinguer à ce dernier point de vue les chemins de fer entrepris par l'industrie privée seule, et ceux qui ont été construits avec le concours financier des divers États ou du gouvernement fédéral.

Premières lignes entreprises par l'industrie privée.

Les premiers chemins de fer dus à l'initiative privée ont été généralement entrepris, comme en France et en Angleterre, par tronçons de faible longueur par un très grand nombre de petites Compagnies, en vue de réunir des villes d'une certaine importance. Tels sont, par exemple, la plupart des chemins de fer ouverts de 1835 à 1845 dans la Nouvelle-Angleterre et l'État de New-York, qui en se soudant bout à bout ont fini par constituer quelques-unes des grandes lignes actuelles.

Nous citerons entre autres le premier chemin de fer ouvert entre New-York et Boston, de 370 kilomètres en totalité, passant par Providence, qui appartient encore aujourd'hui à quatre compagnies en ayant construit chacune successivement un tronçon : New-York et New-Haven, 119 kilomètres ; New-Haven et New-London, 80 kilomètres ; New-London et Providence, 100 kilomètres ; Providence et Boston, 71 kilomètres.

Une seconde ligne plus directe, ouverte plus tard entre New-York

et Boston (*air line*) et réduisant le parcours entre ces deux villes à 338 kilomètres, n'est également à partir de New-Haven que la réunion de deux lignes entreprises séparément, celles de New-Haven à Willimantic, 80^k,5, et de Willimantic à Boston, 138^k,5.

Un des exemples les plus remarquables de cette exécution par tronçons est celui qui est offert par le New-York Central et Hudson River R.R., aujourd'hui le principal chemin de fer de l'État de New-York. Ce chemin de fer résulte de la réunion de deux lignes, celle de l'Hudson River, construite de New-York à Albany par une seule compagnie qui l'a ouverte en 1851, et du New-York Central R.R., qui a absorbé six petites lignes de 80 kilomètres de longueur moyenne reliant deux à deux les villes d'Albany, Schenectady, Utica, Syracuse, Auburn, Attica et Buffalo, situées le long du canal Érié, dont l'ouverture n'avait pas peu contribué à leur prospérité.

L'initiative privée s'est, en général, portée vers la construction des chemins de fer partout où il y avait quelque chance de bénéfice, sans vues d'ensemble, en proportionnant à ses ressources la longueur des lignes à construire. C'est plus tard, lorque l'achèvement prochain de la plupart des petites lignes reliées les unes aux autres a ouvert la perspective d'un courant commercial important, que la fusion des petites compagnies, ou tout au moins celle des exploitations est venue imprimer plus d'unité à leur organisation, et en a fait de grandes lignes de trafic ; encore y a-t-il lieu de remarquer que la multiplicité des Compagnies est restée beaucoup plus grande en Amérique qu'en Europe[1].

Lignes industrielles.

D'autres lignes, également dues uniquement à l'initiative privée, ont eu surtout à l'origine un objet industriel et ont été tracées en conséquence.

Chemin de fer de Philadelphia-Reading. — Telle est la ligne du Philadelphia-Reading, qui se dirige, en remontant à partir de Philadelphie la vallée du Schuylkill, affluent de la Delaware, vers le grand bassin houiller dont Pottsville est le centre. Au moment où ce chemin de fer a été commencé (1835), le transport des charbons

1. L'Annuaire de M. H. Poor pour 1875 accuse un nombre de 689 compagnies pour 120 000 kilomètres de chemins de fer, soit en moyenne une compagnie pour 175 kilom.

se faisait déjà par le Schuylkill canalisé, et la Compagnie concessionnaire en tirait de grands bénéfices. Elle n'a pu soutenir la concurrence du chemin de fer qui a fini par affermer le canal. La Compagnie du chemin de fer qui possède, exploite ou commandite aujourd'hui des mines de charbon sur une étendue de près de 40 000 hectares, a construit elle-même ou affermé, pour en distribuer les produits dans toute la région industrielle comprise entre la Delaware et la Susquehanna, toutes deux navigables sur de grandes longueurs, un très grand nombre d'embranchements aboutissant à tous les ports situés sur ces rivières, et se reliant en outre à la plupart des grandes lignes de chemins de fer de la Pennsylvanie. Ces embranchements ont, avec la ligne principale, un développement de près de 1000 kilomètres, et transportaient, en 1875, 3 millions de tonnes[1] d'anthracite, pendant que le Schuylkill canalisé n'en transportait que 825 000.

Chemin de fer de Lehigh et Susquehanna. — Le chemin de fer de Lehigh et Susquehanna, partant de la ville d'Easton au confluent du Lehigh et de la Delaware, et remontant la rive gauche du Lehigh pour se relier à Wilkesbarre et à Mauch-Chunk à deux des plus importantes exploitations de mines de la Pennsylvanie, est un autre exemple sur une moindre échelle de chemin de fer industriel.

Cette ligne, qui a un développement de 161 kilomètres, a été établie en 1840 par la Compagnie dite « *du charbon et de la navigation du Lehigh* », qui exploitait déjà parallèlement une voie navigable de 77 kilomètres de longueur de Coalport à Easton. Prolongée jusqu'à Jersey City par le chemin de fer Central of New-Jersey qui l'a affermée, elle amène jusqu'en face de New-York les houilles de la Pennsylvanie en concurrence, à partir d'Easton, avec le canal Morris qui lui est parallèle.

La ligne du Lehigh et Susquehanna a transporté, en 1875, 2 572 483 tonnes de charbon, tandis que le Lehigh canalisé en transportait seulement 720 000.

Chemin de fer de Lehigh Valley. — Dans la même vallée du Lehigh et sur la rive opposée, le chemin de fer de Lehigh Valley, partant de Wilkesbarre et aboutissant après un parcours de 256 kilomètres au fond de la baie de Raritan par un prolongement dirigé d'Easton à Perth-Amboy, fait un transport de charbon encore plus consi-

1. En 1877, ce transport a atteint 7 millions de tonnes.

dérable que chacun des deux précédents; ce transport s'est élevé en 1875 à 3 277 571 tonnes.

Chemin de fer de Delaware-Lackawanna et Western. — Le district houiller de Wilkesbarre est enfin desservi par le Delaware-Lackawanna et Western R.R., qui comprend trois sections principales aboutissant à la station de Scranton. L'une de ces sections dirigée vers le nord rejoint à Binghampton un canal secondaire qui relie, en empruntant partiellement le cours du Chenango, la Susquehanna au canal Erié, et se prolonge d'abord parallèlement à cette voie navigable jusqu'à Syracuse sur le canal Erié, puis jusqu'à Oswego sur le lac Ontario; une autre section redescend au sud-ouest par Wilkesbarre et Bloomsburg jusqu'au confluent des deux branches de la Susquehanna à Northumberland; la troisième section se dirige à l'est vers la vallée de la Delaware, puis vers Hoboken sur l'Hudson en face de New-York par l'embranchement dit de Morris-Essex. Ce chemin de fer, dont le réseau embrasse aujourd'hui 995 kilomètres, a transporté, en 1875, 3 404 000 tonnes de charbon.

Si l'on ajoute à ces quatre lignes de chemins de fer le système de voies navigables constitué au nord par le canal de la Delaware à l'Hudson, au sud par le canal Morris et par le canal de la Delaware à la baie de Raritan, que relie le cours de la Delaware et que complète le Lehigh canalisé, on ne compte pas moins de sept lignes concurrentes se disputant le transport des charbons de Pennsylvanie vers la Delaware et l'Hudson, et dont le tracé a été surtout déterminé en vue de ce transport, sans parler des chemins de fer de l'Erié et du Pennsylvania R.R., dont il sera parlé plus loin.

Les voies navigables ont donc généralement jalonné tout d'abord les directions des chemins de fer créées pour le service de l'industrie; ceux-ci, répondant mieux à ses exigences par la régularité et l'élasticité de leur trafic, ainsi que par la plus grande flexibilité de leurs tracés, ont fini presque partout par réduire les canaux au rôle d'auxiliaires, en même temps qu'ils ont imprimé à l'exploitation des mines une bien plus grande activité par le grand nombre de nouveaux débouchés que l'extension des voies ferrées a procurés à leurs produits.

L'action modératrice des canaux sur les tarifs de transport n'a pas d'ailleurs pour cela complètement cessé : au lieu de se produire directement comme dans le principe, elle s'exerce maintenant par l'intermédiaire des compagnies de chemins de fer devenues pro-

priétaires ou fermières de canaux, auxquelles l'emploi de ces voies navigables pour le transport des matières pondéreuses permet d'abaisser leurs tarifs de manière à soutenir la concurrence tant entre elles qu'avec les compagnies exploitant uniquement des voies ferrées.

Lignes entreprises avec le concours des États.

Certaines lignes d'intérêt général ont été entreprises avec le concours financier des États, dont les législatures en matière de concession de chemins de fer et de canaux ont toujours été souveraines. C'est ce qui a eu lieu par exemple pour le chemin de fer de Baltimore et Ohio, entrepris avec des capitaux fournis en partie par la ville de Baltimore et l'État de Maryland; — pour le chemin de fer du Pennsylvania Central, auquel l'État de Pennsylvanie a cédé gratuitement des tronçons qu'il avait lui-même construits; — pour le chemin de l'Erié, auquel l'État de New-York a fait remise des avances qu'il avait faites pour sa construction ; — enfin pour le Chesapeake et Ohio R.R., dont une grande partie a été construite par l'État de Virginie.

Ces divers chemins de fer ont été établis pour substituer des lignes continues aux voies mi-partie navigables, mi-partie ferrées, qu'on avait tout d'abord projetées à travers les Alleghanies entre les grands entrepôts de l'ouest et les principaux ports de l'Atlantique.

Assujetties en général à la condition de ne pas sortir autant que possible des États qui les subventionnaient, il a été rarement imposé à ces lignes des points de passage obligés, que le peu d'importance des agglomérations disséminées sur leur route n'aurait pas justifiés, en dehors des points extrêmes et de quelques villes que les compagnies avaient tout intérêt à desservir, et qui se trouvaient dans des vallées où le tracé devait nécessairement passer.

Lorsqu'en 1851, les nouveaux États formés en dehors des 13 États primitifs ont accordé comme subvention aux Compagnies de chemins de fer, principalement dans la vallée du Mississipi, les terres inoccupées qui leur avaient été abandonnées par le gouvernement fédéral (*Land grants*), les Compagnies n'ont pas été en général astreintes à des obligations plus étroites pour leurs tracés;

elles ont eu d'autant plus de latitude à cet égard qu'elles traversaient des pays inhabités qu'il s'agissait de coloniser. On sait le magnifique parti qui a été tiré par la Compagnie de l'Illinois Central d'une semblable concession, faite en 1851, qui lui a permis en un petit nombre d'années, non seulement de payer tous les frais de construction de ses lignes, mais encore de distribuer à ses actionnaires des dividendes de 8 et 10 p. 100 en vendant les terres concédées, fort recherchées à cause de leur fertilité par les colons, qui n'ont pas tardé à affluer sur le parcours des voies ferrées, du moment où celles-ci leur ont assuré, pour la vente des produits agricoles, des débouchés qui manquaient jusqu'alors.

Plus tard, c'est le gouvernement fédéral qui a directement accordé les concessions de terres aux compagnies pour la construction des chemins de fer à entreprendre sur la rive droite du Mississipi, en fixant aussi d'une manière très générale les tracés, et s'en remettant aux Compagnies du soin d'en approprier le mieux possible les détails à l'exploitation des ressources naturelles des régions traversées, pour y attirer la colonisation. Dans les vastes contrées à peine explorées où s'ouvrent ces lignes, les Compagnies n'ont pas à subir d'autres sujétions que celles que leur impose la topographie du pays : les stations qu'elles établissent marquent habituellement les emplacements des villes qui se créeront sur la route et dont la voie ferrée est destinée à former la première rue : loin que la voie ferrée ait à éviter les habitations, elle les attire. C'est ce qui explique comment il est si fréquent de voir les trains circuler au milieu des rues, aussi bien dans les villes de formation récente que dans certains quartiers de villes plus anciennes, grâce à l'habitude que les populations ont prise de ce passage sur d'autres points.

Nous venons de voir quelles considérations, en dehors de celles de l'ordre technique, avaient le plus souvent déterminé le choix des tracés ; il nous reste à les examiner à ce dernier point de vue.

Conditions techniques des tracés.

Remarquons tout d'abord qu'en traçant la plupart des lignes, les ingénieurs américains, préoccupés avant tout de leur importance commerciale, ont eu en vue les facilités que la voie ferrée, même médiocrement établie et entretenue, devait offrir pour les transports, et les avantages à attendre de la permanence de son

exploitation, beaucoup plus que la vitesse et l'abaissement des frais d'exploitation qu'on pourrait réaliser avec des conditions de construction et d'entretien plus parfaites. En raison de la rareté de la population sur le parcours de la plupart des lignes, les voyageurs qui auraient surtout pu profiter de ce dernier avantage, représentaient un élément de trafic bien moins important que les grandes masses de produits agricoles et industriels qu'il s'agissait de transporter à de grandes distances. Rencontrant d'ailleurs sur les deux versants des Alleghanies, où les chemins de fer se sont d'abord établis, un sol très accidenté, et ne disposant pour leur construction que de faibles ressources qu'ils avaient d'autant plus à ménager que les parcours étaient plus longs, les ingénieurs américains ont été suffisamment fondés à rechercher la vitesse et l'économie dans la construction avant de viser aux mêmes avantages dans l'exploitation.

Pour éviter les travaux dispendieux, ils se sont donc tout d'abord attachés à serrer d'aussi près que possible les inflexions du terrain, en usant largement des pentes et contre-pentes et en réduisant beaucoup plus qu'en Europe les rayons des courbes au parcours desquelles ils ont adapté presque dès le principe un matériel spécial.

Ce n'est que plus tard, lorsque le développement du trafic et l'aiguillon de la concurrence ont fait sentir aux Compagnies la nécessité de rendre leur exploitation plus économique, qu'elles se sont décidées à s'imposer de plus grands sacrifices pour introduire dans le tracé des lignes à grand trafic des améliorations qui les ont ramenées à très peu près aux conditions d'établissement des grandes lignes européennes.

Les Compagnies américaines ont été ainsi amenées à compléter leurs réseaux par des lignes à faibles déclivités et à courbes de grand rayon analogues à celles par lesquelles les Compagnies européennes avaient commencé les leurs, tandis que celles-ci ont fini par adopter pour l'achèvement de leurs réseaux des tracés établis dans les conditions des premières lignes américaines.

Études. — Ce serait d'ailleurs une erreur de croire que la rapidité avec laquelle la plupart des chemins de fer ont été établis n'a pas permis aux ingénieurs américains d'apporter à l'étude des tracés une attention suffisante.

S'il est vrai de dire que les avant-projets, pour la préparation

desquels ils ne disposent le plus souvent que de cartes fort incomplètes et de cotes de nivellement obtenues à l'aide du baromètre, ne peuvent reposer sur des bases suffisamment exactes, il en est tout autrement pour les tracés définitifs, que précèdent ordinairement des opérations sur le terrain multipliées et prolongées souvent jusqu'à l'ouverture des travaux. Autant les ingénieurs américains, une fois la période des travaux, et par suite des dépenses, commencée, déploient d'activité pour l'abréger, autant ils sont attentifs à ne s'y engager qu'après avoir bien examiné tous les moyens de réduire la dépense sans compromettre les conditions économiques de l'exploitation. Le grand nombre de variantes proposées pour les parties les plus importantes des tracés, les estimations comparatives auxquelles elles donnent lieu, les consultations dont elles font l'objet, et auxquelles on convoque les ingénieurs ayant le plus d'autorité en cette matière, témoignent du soin qui est mis aux études préalables et de l'intérêt que les Compagnies y attachent[1].

Les contrepentes et les courbes multipliées que l'on rencontre dans certains tracés n'ont été le plus souvent adoptées qu'après de longues études, où l'on avait bien pesé les avantages et les inconvénients qui devaient en résulter pour la construction et pour l'exploitation, en faisant entrer en ligne de compte la possibilité des rectifications ultérieures. C'est ainsi qu'on a pu plus d'une fois percer après coup des souterrains pour supprimer, soit des contrepentes, soit des courbes trop raides, sans interrompre l'exploitation, ni déplacer l'axe de la voie autrement que sur de faibles longueurs.

Réduction des terrassements. — Indépendamment de la considération d'économie sur le capital de premier établissement, la nécessité de raccourcir le plus possible la période d'exécution, improductive pour le capital dont les intérêts sont généralement très élevés[2], a conduit, partout où le sol présente des ondulations multipliées, à élever le niveau de la plate-forme de la voie beaucoup plus qu'en Europe, afin de diminuer les terrassements, d'autant plus coûteux en Amérique que la main-d'œuvre y est plus chère, sauf à racheter au besoin ce surcroît d'élévation par des

1. Le soin avec lequel sont étudiés les tracés n'a pas échappé à M. Malézieux qui, dans son rapport sur les travaux publics en Amérique, a pleinement rendu justice à cet égard aux ingénieurs américains.

2. Le taux de ces intérêts a été souvent de 10 p. 100.

viaducs en bois ou en métal, substitués temporairement ou définitivement à des remblais qui, de l'autre côté de l'Atlantique, seraient encore regardés comme d'une hauteur très modérée. Aussi, tandis que les souterrains sont le plus souvent courts, et les tranchées profondes et un peu longues fort rares, les viaducs en bois ou en métal sont presque partout fort nombreux.

Ajoutons que, sur une grande partie du territoire de l'Amérique du Nord, la nature particulière des terrains traversés, consistant le plus souvent en roches très dures, et la rigueur exceptionnelle de l'hiver pendant lequel les encombrements de neige sont très fréquents, sont des raisons de plus de chercher à éviter les tranchées.

Traversée des vallées et des villes. — Lorsqu'il s'agit au contraire de franchir de larges vallées et de traverser des cours d'eau navigables, les mêmes considérations d'économie et de rapidité d'exécution font préférer les ponts tournants aux ponts fixes, qui obligeraient pour satisfaire aux exigences de la navigation de donner aux constructions une très grande hauteur. Ces ponts tournants, ainsi que nous le verrons plus loin, sont généralement à double travée et remarquables par leurs grandes portées.

Aux abords et à l'intérieur des villes, familiarisées, ainsi que nous l'avons déjà vu, avec le passage des trains, l'établissement de la voie au niveau du sol permet de raccorder très simplement les voies de service avec les quais, les usines et les entrepôts de chaque localité, où les wagons peuvent aller directement charger ou décharger les marchandises en suivant des voies établies dans les rues et empruntées parfois par des lignes de tramways. Il en résulte toutefois au point de vue de la sécurité publique des dangers qui tendent aujourd'hui à faire interdire aux trains le passage dans les rues des cités populeuses.

Après avoir signalé les principaux traits qui caractérisent le tracé des chemins de fer américains, nous allons examiner plus en détail la question des rampes et des courbes qui constituent les éléments essentiels de ce tracé.

Disons d'abord que si dans ce qui va suivre nous considérons successivement à part les rampes, puis les courbes, il est d'usage chez les ingénieurs américains de ne pas les séparer dans les études de tracés, où ils se préoccupent plus qu'on ne le fait en Europe de l'influence que leur coïncidence peut exercer sur les conditions de la traction.

Rampes.

L'inclinaison des rampes est généralement mesurée en pieds anglais de $0^{m},305$, et rapportée au mille anglais de 1609 mètres.

Le tableau suivant donne, pour des déclivités variant de 10 en 10 pieds par mille, les inclinaisons correspondantes en millimètres par mètre, soit en mètres par kilomètres.

NOMBRE DE PIEDS par mille.	NOMBRE DE MÈTRES par kilomètre.	NOMBRE DE PIEDS par mille.	NOMBRE DE MÈTRES par kilomètre.
10	1,89	80	15,15
20	3,79	90	17,05
30	5,68	100	18,94
40	7,58	110	20,83
50	9,47	120	22,73
60	11,36	130	24,62
70	13,26	140	26,52

Lignes à faibles pentes. — Nous avons expliqué précédemment comment les ingénieurs américains avaient été amenés à multiplier les pentes et contrepentes, et à adopter pour les courbes de courts rayons sur la plupart de leurs tracés. Il existe des lignes sur lesquelles les déclivités des pentes et rampes ont pu être dès le principe renfermées dans des limites assez étroites, grâce au peu d'importance des accidents de terrain. Elles sont principalement situées dans la partie supérieure de la vallée du Mississipi et dans la région des lacs. L'inclinaison de 0,01 n'est pas atteinte sur la plupart des chemins de fer des États d'Ohio, Indiana, Illinois, Iowa, Wisconsin, où le sol est généralement uni. Il en est de même de la plupart des lignes du Canada, et de celles qui, sur le territoire de l'Union, côtoient les lacs Erié et Michigan : sur le Great Western canadien, entre le pont du Niagara et Detroit, les plus fortes rampes sont de $0^{m},008$; elles sont moindres encore sur le Lake-Shore et Michigan R.R., dont le parcours ne comprend pas moins de 870 kilomètres de Buffalo à Chicago, où elles ne dépassent guère 0,007. La facilité avec laquelle la voie ferrée a pu être établie dans ces régions où elle est généralement tracée avec de longs alignements

droits et des courbes de grand rayon, n'a pas peu contribué à la multiplication rapide des chemins de fer.

Dans la vallée de l'Hudson, la ligne à grand trafic de l'Hudson River R.R., entre Albany et New-York, a été également tracée, quoique dans des conditions moins favorables, avec de faibles déclivités : les courtes rampes de 0m,006, qu'on y rencontre en alignement droit, n'opposent guère plus de résistance au mouvement des trains que les courbes multipliées du tracé.

En dehors des régions que nous venons de citer, notamment sur les deux versants des Alleghanies, il est rare que l'inclinaison de 0m,01 ne soit pas dépassée, et l'on peut considérer comme tout à fait normale une succession de pentes et contre-pentes ne dépassant pas de 60 à 70 pieds par mille, soit de 0m,0114 à 0m,0132. Les pentes et contre-pentes ne sont d'ailleurs souvent séparées par aucun palier.

L'inclinaison de 0m,0114 (60 pieds par mille) a été adoptée comme limite, sur un certain nombre de lignes importantes, comme l'Erié, le Cincinnati-Southern, l'Intercolonial du Canada et le chemin de fer de Charleston à Augusta dans la Caroline du Sud. Sur cette dernière ligne, une rampe de 0m,0102, régnant sur une longueur de 10 kilomètres, entre Aiken et Granitville, et établie en remblai de plus de 20 mètres près de cette dernière station, a remplacé un plan incliné avec machine fixe, primitivement installé à Aiken.

Le maximum de 0m,0132 (70 pieds par mille) n'est pas dépassé sur un grand nombre de chemins de fer du Sud, parmi lesquels nous citerons celui d'Atlantic, Mississipi et Ohio, de Lynchburg à Bristol, qui relie les deux États de Virginie et de Tennessee dans une direction parallèle aux Alleghanies ; — celui de Charlotte, Columbia et Augusta, qui traverse, parallèlement au littoral de l'Atlantique, la Caroline du Sud, et le chemin de fer de Louisville et Nashville, se prolongeant dans la vallée du Mississipi jusqu'à Montgomery, capitale de l'Alabama.

On rencontre des déclivités de 0m,015 sur la ligne de Boston à Albany, construite de 1835 à 1841, et de 0m,017 sur le Central of New-Jersey, achevé entre Easton et Jersey City, en 1852.

Lignes de grand trafic traversant des chaînes de montagnes. — Sur les premières lignes établies à travers les Alleghanies, où il s'agissait d'atteindre des hauteurs de 600 à 800 mètres, l'inclinaison des rampes a dû être encore accrue : toutefois les ingénieurs qui ont

eu à tracer ces lignes, justement préoccupés de l'influence des rampes sur les frais d'exploitation, en raison du trafic considérable qu'elles seraient appelées à desservir, ont eu le mérite d'en renfermer les déclivités dans des limites relativement modérées.

Nulle part sur ces lignes, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant, on n'a dépassé le maximum d'inclinaison de $0^m,022$, qui correspond à la ligne la plus ancienne, celle du Baltimore et Ohio R.R. ; sur la plupart des lignes plus récemment ouvertes, on s'est maintenu notablement au-dessous de cette limite.

INDICATION des LIGNES.	ÉPOQUE de leur CONSTRUCTION.	ALTITUDE MAXIMA.	INCLINAISON MAXIMA DES RAMPES en millimètres.
Baltimore et Ohio.....	1828-1853	800^m	22 millim. sur les deux versants.
Central Pennsylvanien.	1834-1854	659	18 millim. en montant vers l'ouest. 10 millim. en montant vers l'est.
Érié.............. ..	1836-1851	544	11 millim. en montant vers l'est.
New-York Central et Hudson River......	1831-1851	135	Sur le New-York Central, 16 et 21 millim. en montant vers l'ouest. $8^{mm},8$ en montant vers l'est. Sur l'Hudson River R.R., 6 millim. dans les deux sens.
Chesapeake et Ohio...	1836-1873	628	$15^{mm},7$ en montant vers l'ouest. $14^{mm},2$ en montant vers l'est.

La limite de $0^m,022$ n'a pas été dépassée pour le Central et l'Union Pacific, où la voie s'élève jusqu'à des altitudes de 2400 mètres; encore n'a-t-elle été atteinte que sur le Central Pacific, à la traversée du faîte de la Sierra Nevada.

Il a été expressément stipulé, dans un acte additionnel à l'acte de concession du chemin de fer du Pacifique, que cette inclinaison limite ne pourrait s'appliquer qu'à la traversée des montagnes, et que dans les pays de plaines, comme dans les vallées de la Platte

et du Kansas, on ne dépasserait pas la limite de 30′ par mille ($0^m,0057$).

Nous verrons, plus loin, que sur les divers réseaux traversant les Alleghanies, on a ultérieurement construit des embranchements spécialement affectés au service des trains de marchandises, où l'on a réduit notablement les déclivités indiquées au tableau ci-dessus.

Dans les stations des lignes à grand trafic on n'hésite pas à admettre des déclivités de $0^m,003$ à $0^m,004$, sans y voir un inconvénient pour le service.

Dans les gares de triage, on rencontre des pentes, destinées à faciliter le lancement des wagons, dont l'inclinaison varie de $0^m,005$ à 0,010.

Lignes secondaires. — Ce que nous venons de dire s'applique aux lignes principales ; pour les lignes secondaires, les ingénieurs américains ont admis des inclinaisons beaucoup plus considérables. Les plus fortes rampes desservies par des locomotives se trouvent sur les lignes suivantes :

Lehigh Valley	$0^m,029$
Philadelphia-Reading	$0^m,033$
Jackson-Vicksburg	$0^m,048$
Jefferson, Madison et Indianopolis	$0^m,060$

Sur les deux premières lignes, qui sont principalement affectées au transport des charbons provenant des hautes vallées du Lehigh et du Schuylkill, les fortes rampes sont remontées habituellement à vide. Celle du Philadelphia-Reading, qui se trouve à l'origine même de la ligne, a une longueur de 10 kilomètres ; au delà, la ligne, jusqu'à l'entrée de Philadelphie sur 140 kilomètres, présente une pente continue dont l'inclinaison ne dépasse pas $7^{mm},56$ par mètre : une machine de renfort est seulement nécessaire pour franchir l'étroit plateau qui sépare, au nord de Philadelphie, le Schuylkill de la Delaware.

La rampe de Jackson à Vicksburg est également très courte, et celle du chemin de Jefferson et Madison (Indiana), qui se présente à la sortie de Madison sur les bords de l'Ohio, a une longueur de 2 kilomètres seulement, et se trouve tout entière en alignement droit : elle a d'abord été exploitée avec des chevaux.

Lignes provisoires. — Sur les lignes provisoires les fortes rampes sont beaucoup plus fréquentes.

Un des exemples les plus remarquables de ces fortes rampes provisoires est celui que fournit la voie provisoire installée par M. Ch. Ellet, au passage des Montagnes Bleues, qui forment la première ramification des Alleghanies vers l'Atlantique, sur le chemin du Chesapeake et Ohio, en attendant l'exécution du souterrain de faîte. Cette voie provisoire, qui franchissait un col très resserré à l'altitude de 575 mètres, présentait une longueur totale de 7 kilomètres ainsi répartie :

INDICATION DU VERSANT.	LONGUEUR.	MONTÉE TOTALE.	PENTE MOYENNE.	PENTE MAXIMA.
Versant de l'est	$3^{k},80$	186^{m}	$0^{m},049$	$0^{m},056$
Versant de l'ouest	$3^{k},20$	137^{m}	$0^{m},042$	$0^{m},056$

L'inclinaison de $0^{m},056$ en ligne droite était réduite à $0^{m},045$ sur les courbes, dont le rayon minimum était de $91^{m},50$ sur le versant ouest et de $71^{m},60$ sur le versant est. Malgré cette réduction de la pente, les machines, en passant des alignements droits aux courbes, éprouvaient un ralentissement très sensible. Ces machines qui étaient à six roues couplées et à tender séparé, pesant $22^{t},50$ à vide et $24^{t},75$ avec leur pleine charge d'eau et de charbon, remorquaient, avec une vitesse de 10 à 12 kilomètres, trois voitures à huit roues pesant chacune, avec leur charge, 14 tonnes : la charge totale du train variait de 40 à 50 tonnes.

Sur la ligne du Baltimore et Ohio, on a également exploité des voies provisoires à fortes rampes, en attendant l'achèvement des deux souterrains de Kingwood et de Boardtree.

Le souterrain de Kingwood, de 1230 mètres de longueur, est établi à 142 kilomètres à l'ouest de la station de Cumberland et à l'altitude de 555 mètres.

Pour pouvoir, pendant son exécution, transporter à pied d'œuvre, à l'est du faîte, les rails et les traverses, on avait pensé d'abord à établir une voie à chevaux : on s'arrêta définitivement à la construction d'une voie provisoire de 3170 mètres de longueur exploitée par des machines, commençant à 600 mètres de l'origine est du souterrain et venant traverser en plan l'axe du souterrain aux 2/3 de sa longueur (fig. 4 et 6, pl. II). Cette voie présentait des courbes de

90 mètres et 120 mètres de rayon, réparties sur deux tronçons se raccordant à la traversée de l'axe du souterrain par un rebroussement. La pente était de 0m,10 par mètre au point de départ, puis s'adoucissait vers le sommet, et se réduisait à 0m,043 sur l'autre versant.

Le service était fait par une locomotive à huit roues couplées pesant 25 tonnes, suivie d'un tender pesant 15 tonnes et d'un seul wagon, qui formaient en tout un poids de 60 tonnes. Ce wagon était, à la montée, placé en tête, pour éviter les accidents de rupture d'attelage : il passait en queue à la descente, et comme la machine se trouvait alors retournée, l'eau recouvrait toujours les surfaces de chauffe. Indépendamment des freins ordinaires sur le tender et le wagon de service, des freins, constitués par des coins en fonte interposés entre les roues motrices de la machine, servaient à les caler deux à deux.

Des boîtes à sable, placées en avant et en arrière, permettaient d'accroître par les temps humides l'adhérence qui était tout juste suffisante par les temps secs.

L'exploitation de cette voie provisoire n'a jamais donné lieu à aucun accident sérieux, et elle a été continuée pendant quelque temps encore après l'ouverture de la ligne.

Au souterrain de Boardtree, qui avait 700 mètres de longueur, les conditions d'établissement de la voie provisoire étaient un peu différentes. Il s'agissait de racheter une élévation de 100 mètres, en parcourant, des deux côtés du faîte, des versants profondément découpés par des ravins. Pour augmenter le développement, on a tracé la voie en zigzags sur les deux versants, imitant ainsi le tracé par « *Switchbacks* » ou aiguilles de rebroussement, usité aux charbonnages de Mauch-Chunk en Pennsylvanie. On a dû toutefois réduire le plus possible l'espace occupé, à cause de l'extrême déclivité des versants. Il y avait trois aiguilles de rebroussement sur le versant est et cinq sur le versant ouest. L'inclinaison était de 0m,06 sur les plus longues pentes et de 0m,04 sur les petites, qui alternaient avec les grandes.

Par suite des rebroussements, il arrivait que la machine se trouvait alternativement en arrière et en avant des trains ; mais les plus longues déclivités étaient toujours parcourues machine en queue ou en tête, suivant qu'il s'agissait de monter ou de descendre, et la position inverse ne se produisait que sur les plus courtes

rampes, ce qui était sans inconvénient sensible (fig. 5 et 7, pl. II).

La longueur totale de la voie provisoire était de 4200 mètres, soit à peu près double de la distance en ligne droite entre ses deux extrémités.

L'exploitation se faisait avec les mêmes machines qu'au tunnel de Kingwood : elles pouvaient traîner un poids utile deux fois plus considérable. Les freins du tender et des wagons avec le renversement de la vapeur suffisaient pour arrêter, dans tous les cas, les trains qui ont circulé sur cette voie pendant près d'une année[1].

Sur l'Union Pacific, une voie provisoire a été également installée pendant le percement d'un des trois souterrains au moyen desquels la ligne franchit le faîte des montagnes de Wasatch, un peu avant de descendre par le Weber Cañon vers le Lac Salé. Une rampe de 1200 mètres de longueur, inclinée à 0m,047 et formée par la réunion de trois branches disposées en Z, était remontée par des trains de dix wagons intercalés entre deux machines. Il existait sur cette rampe des courbes de 109 mètres et même de 76 mètres de rayon.

Le même système de rampes avec aiguilles de rebroussement vient d'être employé sur la ligne à voie étroite du Colorado Central R.R., pour racheter une élévation de 154 mètres, près de la station de Blackhawk : la hauteur totale est divisée en deux étages, correspondant chacun à une aiguille et à un palier horizontal, pour arriver à gravir des rampes de 0m,030 environ. Ces rampes ont un développement total de près de 6 kilomètres.

Courbes.

Les courbes se mesurent soit par le rayon, soit, et c'est le cas le plus général, par le nombre de degrés de l'angle au centre correspondant à une corde de 100 pieds de longueur. Si l'on désigne par R le rayon en pieds, par x l'angle au centre correspondant à la corde de 100 pieds, il s'ensuit qu'on a :

$$R = \frac{100}{2 \sin \frac{1}{2} x}$$

---

1. Ces renseignements sur les deux chemins provisoires employés aux souterrains de Kingwood et de Board-Tree sont empruntés au *Railroad Gazette* du 5 décembre 1874.

et, comme, pour les arcs d'un très petit nombre de degrés, on peut confondre, sans erreur sensible, l'arc avec le sinus,

$$R = \frac{100 \times 180}{\pi \times n} = \frac{5730}{n}$$

n étant le nombre de degrés correspondant à la corde de 100 pieds.

On peut ainsi former le tableau suivant, donnant la corrélation entre les degrés n et les rayons R en pieds et en mètres.

NOMBRE DE DEGRÉS.	RAYON EN PIEDS.	RAYON EN MÈTRES.	NOMBRE DE DEGRÉS.	RAYON EN PIEDS.	RAYON EN MÈTRES.
1	5730	1747	11	522	159
2	2865	873	12	478	146
3	1910	582	13	442	135
4	1433	437	14	410	125
5	1146	349	15	383	117
6	955	291	16	359	109
7	819	249	17	338	103
8	717	218	18	320	98
9	637	194	19	303	92
10	573	175	20	288	88

La flexibilité du matériel américain permet d'admettre, pour le tracé de la voie, des courbures beaucoup plus fortes qu'en Europe.

Dans le principe, on s'imposait la règle de ne pas descendre, pour le rayon des courbes, au-dessous de 305 mètres (1000 pieds) en parcours ordinaire, ni de 122 mètres (400 pieds) dans les parcours exceptionnels, sur les grandes lignes.

On rencontre même encore en quelques points, sur des lignes de construction ancienne, comme le Baltimore et Ohio R.R., des courbes de rayon inférieur à 122 mètres. En octobre 1878, M. E. P. North a relevé près de Harper's Ferry des courbes de 90^{m},50 et de 78^{m},30 de rayon.

Courbes sur les chemins de fer à grand trafic. — La tendance, sur les lignes à grand trafic, est aujourd'hui vers l'accroissement du rayon des courbes. Le tableau suivant donne les plus petits rayons actuellement adoptés sur un certain nombre de grandes lignes :

INDICATION DES LIGNES.	RAYONS DES COURBES.
Baltimore et Ohio	183 mètres.
Pennsylvania Central	218 —
Érié	291 —
New-York Central et Hudson River	218 —
Central et Union Pacific	165 —
Cincinnati Southern	291 —
Intercolonial du Canada	436 —

Le rayon minimum de 291 mètres, admis sur l'Érié, qui a été construit avec une largeur de voie de $1^m,83$, peut être considéré comme équivalent à un rayon de 233 mètres sur la voie normale de $1^m,44$. Ce minimum, qui a été adopté dès l'époque de la construction de la ligne, serait susceptible, d'après l'ingénieur en chef, M. O. Chanute, d'être abaissé aujourd'hui sans inconvénient, par suite des progrès réalisés dans la construction des voitures et des machines.

Il s'ensuit que le minimum du rayon des courbes sur les lignes à grand trafic, ramenées à la voie normale de $1^m,44$, s'éloigne peu aujourd'hui, en général, de 200 mètres en voie courante.

Courbes sur les chemins de fer secondaires. — Sur les chemins secondaires, les rayons des courbes sont notablement moindres.

Sur l'embranchement de Tyrone à Clearfield, faisant partie du réseau pennsylvanien, on trouve des courbes de 145 mètres et 105 mètres de rayon, combinées avec des rampes de 0,020 et 0,026, que l'on exploite avec double machine en tête, et en cas de très longs trains, avec une troisième machine en queue.

On rencontre même sur l'embranchement dit Cumberland branch du Baltimore et Ohio R.R., des courbes de 76 mètres de rayon.

Dans le Nevada, sur le chemin de fer construit entre Virginia City, principal centre de l'exploitation des mines d'argent, et Reno, station du Central Pacific, se rencontrent des courbes de 91 mètres de rayon, combinées avec des pentes de 0,022, qui sont desservies par des machines à 6 roues motrices avec $3^m,00$ d'écartement des essieux moteurs.

Les trains de marchandises, conduits à partir de Virginia City jusqu'à Goldhill à $2^k,80$ du point de départ, redescendent ensuite sous la seule action de la gravité, les 24 kilomètres qui séparent Goldhill de Carson City, en atteignant une vitesse de 50 kilomètres

environ à l'heure. Le dévers de la voie a été calculé en raison de cette vitesse dans les courbes.

Les rayons des courbes sont encore beaucoup plus petits sur les chemins de fer à voie étroite, ainsi que nous le verrons en traitant spécialement de ces chemins.

Courbes sur les chemins de fer provisoires. — Sur les chemins provisoires, nous avons vu qu'on était descendu jusqu'à 70 mètres sur le versant des Alleghanies, au chemin de fer Central de Virginie. On ne paraît pas être allé au-dessous de ce chiffre, pour les chemins de fer à largeur de voie égale ou supérieure à $1^m,44$.

Courbes aux abords et à l'intérieur des gares. — Dans un grand nombre de gares importantes, les courbes ont plus de 300 mètres de rayon; mais cette règle comporte de nombreuses exceptions, surtout pour les raccordements avec les voies d'embranchement.

Un peu avant d'arriver à la gare de Pittsburg, sur le Pittsburg, Fort-Wayne et Chicago R.R., on rencontre des rayons de $67^m,50$; les rayons s'abaissent dans les dépendances de la gare de Pittsburg (*Milkyard et Duquesne depots*) jusqu'à $43^m,60$ et $41^m,95$. Une courbe du premier de ces rayons, suivie d'une autre courbe en sens contraire, de 69 mètres de rayon, est franchie par des trains de 22 wagons.

Sur le Baltimore et Ohio R.R., on trouve dans plusieurs stations des courbes de 75 mètres de rayon et, dans quelques-unes, des rampes de 0,009. Dans quelques gares du Louisville-Nashville R.R., les rampes atteignent une inclinaison de $0^m,011$; le rayon des courbes ne s'y abaisse pas au-dessous de 79 mètres.

Alignements droits entre les courbes. — Il n'existe pas de règles pour la longueur des alignements droits à ménager entre deux courbes en sens opposés. Sur l'Union Pacific, on s'est astreint seulement à ménager entre les courbes un alignement droit égal à la longueur d'une locomotive. Certains ingénieurs admettent qu'il suffit d'une longueur de 50 pieds ($15^m,25$) par degré de courbure, pour que les trains puissent passer d'une courbe à une autre sans éprouver un accroissement subit de résistance. Il s'ensuit que les longueurs d'alignement droit à ménager seraient :

pour des courbes de 10° (175 mètres de rayon)...... $152^m,50$
» » » » 5° (350 » » »)...... $76^m,25$

Influence des déclivités et des courbes. — L'influence des déclivités et des courbes au point de vue de l'économie de l'exploitation a fixé depuis longtemps l'attention des ingénieurs américains. Dès 1844, des expériences ont été faites sur le Baltimore et Ohio R.R. par M. B. H. Latrobe, pour déterminer la résistance des trains en palier, soit en ligne droite, soit en courbe.

Ces premières expériences ont donné, pour la résistance en ligne droite des trains marchant à une vitesse de 3 à 6 kilomètres par heure, un chiffre de $3^{k}.06$ par tonne brute de train.

M. Latrobe à constaté que cette résistance était sensiblement doublée sur des courbes de 14 degrés de courbure, soit de 125 mètres de rayon.

En 1855, d'autres expériences, entreprises par M. Zerah Colburn sur l'Érié R.R., l'ont conduit à attribuer à la résistance des trains, pour des vitesses de 16 à 32 kilomètres à l'heure, une valeur de $2^{k},25$ par tonne brute de train en ligne droite, et à évaluer à $2^{k},50$ la résistance additionnelle dans les courbes de 10 degrés de courbure (175 mètres de rayon).

Dans un rapport présenté au Gouvernement Fédéral en 1865, par le colonel Simpson au sujet de plusieurs tracés, proposés pour une section de l'Union Pacific entre les stations d'Elkhorn et d'Omaha, on trouve le tableau suivant, récapitulant les diverses valeurs attribuées à cette résistance additionnelle par degré de courbure et par tonne brute de train.

NOMS des EXPÉRIMENTATEURS.	PENTE EN MILLIMÈTRES équivalente à la résistance pour 1° de courbure.
Charles Ellet........	$0^{mm},50$
Anonyme.............	$0^{mm},41$
Zerah Colburn.....	$0^{mm},25$
Latrobe............	$0^{mm},23$
Ingénieurs du Baltimore et Ohio R.R.	$0^{mm},13$
Moyenne....... .	$0^{mm},304$

De cette moyenne on déduirait pour la résistance due à une

courbe dont R est le rayon en kilomètres[1], la valeur par tonne de train brut $\frac{0^k,53}{R}$.

En général, on prend pour cette résistance, soit une livre par tonne et par degré de courbure, soit $\frac{1}{2}$ livre, ce qui revient aux valeurs $\frac{0^k,80}{R}$ ou $\frac{0^k,40}{R}$ par tonne brute de train, en chiffres ronds.

La dernière de ces valeurs, résultant d'un assez grand nombre d'expériences concordantes, est celle qui semble devoir mériter le plus de confiance.

L'une et l'autre de ces deux valeurs sont notablement inférieures à celles admises en Europe, ce qui s'explique par la flexibilité beaucoup plus grande du matériel américain.

Les ingénieurs américains admettent habituellement que, pour une vitesse normale de 20 milles (32 kilomètres), la résistance est doublée en alignement droit sur une rampe de 20 à 25 pieds par mille, ce qui revient à attribuer à cette résistance, en palier et en ligne droite, une valeur de $3^k,80$ à $4^k,75$. Certains ingénieurs l'évaluent en nombre rond à $\frac{1}{200}$ du poids du train, soit à 5 kilogrammes par tonne.

Le mauvais état de la voie, sur un grand nombre de lignes, peut seul justifier l'élévation de ce dernier chiffre, étant donnée la vitesse très modérée des trains sur la plupart des lignes[2].

---

1. Des expériences toutes récentes sur le Metropolitan Elevated R.R. de New-York ont accusé un accroissement de résistance de $0^k,24$ et $0^k,20$ par tonne et par degré de courbure pour des wagons du poids de 10 tonnes circulant d'abord seuls, puis au nombre de 4 à la fois, sur des courbes de $27^m,45$ de rayon, avec de faibles vitesses.

Ces résultats ont été obtenus avec des wagons à roues calées sur les essieux ; avec des wagons à roues libres, on a obtenu une réduction de résistance de 22 à 23 p. 100.

2. Le travail de la résistance en courbe pouvant être considéré comme indépendant du rayon et proportionnel au nombre de degrés d'amplitude de la courbe, il s'ensuit que, si l'on désigne par Q la résistance sur la circonférence, où la longueur de l'arc de 1° est de $30^m,50$, le produit $Q.30^m,50$ représente, sur une circonférence quelconque, le travail de la résistance correspondant à un parcours d'un degré d'amplitude.

Le parcours de 1° vaudrait donc, au point de vue de la résistance, l'ascension d'un nombre de mètres représenté par $\frac{Q.30^m,50}{1000}$, c'est-à-dire $0^m,0138$ ou $0^m,0069$, suivant qu'on attribue à la résistance en courbe une valeur de 1 livre ou une demi-livre par tonne et par degré de courbure, ou le parcours horizontal d'un nombre de mètres égal à :

$$\frac{0^m,0138}{0,005} = 2^m,76 \text{ ou } \frac{0^m,0069}{0,005} = 1^m,38,$$

si l'on admet pour la résistance en palier 5 kilogr. par tonne, le parcours vertical de 1 mètre se trouvant dès lors équivalent à 200 mètres de distance horizontale.

Cet ensemble de données a fourni aux ingénieurs américains des bases pour calculer l'adoucissement qu'ils font généralement subir aux rampes situées en courbe, et pour réduire en parcours horizontal les tracés qu'ils veulent comparer.

Adoucissement des rampes dans les courbes. — Pour l'adoucissement des rampes dans les courbes, le nombre de degrés de courbure multiplié par $0^{mm},453$, ou $\frac{1}{2}\,0^{mm},453$, suivant qu'on admet 1 livre ou $\frac{1}{2}$ livre pour la résistance par degré de courbure, devrait donner le nombre de millimètres dont la rampe doit être diminuée pour que la résistance ne change pas, en passant d'un alignement droit à une courbe.

Sur le Central Pacific, l'adoucissement adopté est de $0^{mm},38$ à $0^{mm},47$ par degré de courbure. Sur le chemin de fer du Pennsylvania Central, il a été abaissé à $0^{mm},28$, ce qui revient à supposer une résistance de 2/3 de livre environ par tonne brute de train et par degré de courbure. Sur le Baltimore et Ohio, la pente de 22^{mm}, en alignement droit, a été réduite à $20^{mm},8$ dans les courbes de 180 mètres de rayon[1].

Comparaison des tracés. — Pour la comparaison des tracés au point de vue du travail correspondant à la résistance des trains, la conversion en parcours horizontal des hauteurs et des courbes franchies, sur des bases analogues à celles que nous avons rappelées plus haut, a été appliquée par plusieurs ingénieurs, quand il s'agis-

---

1. Pour la comparaison de trois tracés en courbe et en rampe proposés pour le raccordement du grand pont de Cincinnati, sur le Cincinnati Southern R.R., avec les lignes du Cincinnati, Hamilton et Dayton, et du Cincinnati et Baltimore R.R., l'ingénieur en chef de la Compagnie, M. G. Bouscaren, a calculé les nombres de wagons chargés que la locomotive type de la Compagnie pourrait remorquer sur chaque tracé, par la formule suivante :

$$N = \frac{Wf - W'g - (W' - W)\,0{,}0033}{20\,(0{,}0033 + g)}$$

où N désigne le nombre des wagons supposés chacun du poids de 20 tonnes;

W le poids sur les roues motrices (30 tonnes);

W' le poids total de la machine (38 tonnes);

f. l'adhérence, prise égale à 0,26;

g. la pente en tenant compte de la courbure, comptée comme équivalente par degré de courbure à $0^{mm},569$.

La résistance du train au roulement a été évaluée à $3^{k},30$ par tonne brute, en ligne droite.

Si ce dernier chiffre ne doit pas paraître trop faible pour une voie en bon état, le coefficient de $0^{m},569$, appliqué au matériel américain pour la résistance en courbe, peut être considéré comme fort élevé eu égard aux résultats des expériences précitées.

sait de variantes assez courtes et assez peu différentes pour comporter la même organisation de la traction ; encore y a-t-il lieu de remarquer que la distribution des déclivités et des courbes sur un parcours donné a une trop grande influence sur les conditions de la traction, pour qu'on ait pu attacher dans la plupart des cas une grande valeur à ce système de comparaison.

Une importance beaucoup plus grande est attribuée avec raison à l'emplacement et à l'inclinaison des rampes déterminant la charge maxima des trains, dont la concentration sur un petit nombre de sections d'une certaine longueur, combinée avec de faibles déclivités sur le reste du parcours, peut conduire dans certains cas à une exploitation plus économique qu'un tracé avec des rampes d'inclinaison moyenne distribuées sur toute la longueur de la ligne. On admet d'autre part que de légères ondulations dans le tracé, tout en procurant souvent une économie notable sur les dépenses de construction, ne peuvent nuire en rien à l'économie de l'exploitation [1].

C'est par l'application de ce principe que l'on explique en partie l'exploitation relativement économique, malgré ses fortes rampes, du Baltimore et Ohio, dont les plus grandes déclivités se trouvent, pour un parcours total de 618 kilomètres de Baltimore à Parkersburg, réunies dans deux sections, l'une de 93 kilomètres, entre Baltimore et Monocacy, l'autre de 99, entre Piedmont et Independance (pl. II, fig. 3), à la traversée des Alleghanies [2].

Le Pennsylvania Central R.R., où les fortes rampes sont concentrées sur un parcours de 59 kilomètres entre Altoona et Conemaugh, peut être considéré comme un autre exemple de profil avantageux (pl. III, fig. 1).

Balancement des pentes. — L'habitude a également prévalu pour les tracés à travers les Alleghanies, de tenir compte de l'importance relative du trafic dans chaque sens, pour la fixation des déclivités maxima. Le trafic étant généralement beaucoup plus considérable dans la direction de l'Est que dans celle de l'Ouest, on a soin de

1. Cette opinion, conforme à celle qui prévaut en Europe, est développée dans un mémoire de M. Herman Haupt, sur le tracé du prolongement du chemin de fer de la vallée de la Shenandoah, publié dans la *Railroad Gazette* du 5 juillet 1873.

2. D'après M. B. H. Latrobe, l'emploi presque exclusif de machines à roues couplées, sans avant-train indépendant, pour les trains de marchandises, a aussi une certaine part dans l'économie réalisée.

faire les rampes montant vers l'Est beaucoup plus douces. C'est ce qui ressort du tableau des plus fortes déclivités des principales lignes traversant les Alleghanies, que nous avons donné page 45. Cette tendance est d'ailleurs favorisée par la moindre inclinaison générale du versant occidental des Alleghanies. Sur ces diverses lignes, le tonnage annuel des marchandises transportées de l'Est à l'Ouest n'est guère au plus que les 40 0/0 du tonnage des marchandises transportées dans la direction opposée.

Quelques ingénieurs recommandent d'établir entre les rampes maxima en sens opposés une relation telle que la résistance des trains, eu égard au tonnage annuel moyen dans chaque sens, soit exactement la même.

C'est évidemment exagérer la valeur d'un système de compensation qui ne peut s'appliquer aux trains de voyageurs, et qui repose d'ailleurs sur des bases essentiellement variables et souvent peu définies, en raison de la part qu'il convient de faire au mouvement des marchandises entre les stations intermédiaires, et de l'irrégularité de sa répartition dans le cours d'une même année.

L'exécution récente du Chemin de fer de Portland (Maine) à Ogdensburg (État de New-York) sur les bords du Saint-Laurent, un des principaux entrepôts du commerce du Canada avec les États-Unis, fournit un exemple de l'application de ce principe du balancement des pentes (*balancing of grades*), qui n'est pas sans intérêt.

Le chemin de Portland à Ogdensburg passe, au sortir de la première de ces villes, dans la vallée du Saco qu'il remonte sans difficulté jusqu'à une distance de 16 kilomètres environ du col extrêmement étroit par lequel une route franchit actuellement la chaîne des Montagnes Blanches, qui est une ramification de celle des Alleghanies. Un premier tracé donnait, à partir du col vers l'Est, une pente uniforme de $0^{m},019$, qui aurait conduit à des terrassements considérables.

M. Latrobe, consulté au sujet de ce tracé, a conseillé d'adopter, aux abords du sommet de la pente vers l'Est, une inclinaison de $0^{m},022$ avec des courbes de 210 mètres de rayon, et d'adoucir ensuite la pente vers le bas en épousant, le plus possible, le relief du terrain. Du côté de l'Ouest, partant de cette idée que le trafic serait beaucoup plus considérable dans un sens que dans l'autre, il a recommandé d'adopter une inclinaison maxima de $0^{m},014$ seulement pour les rampes.

Dans le tracé définitivement adopté, les courbes ont générale-

ment un rayon supérieur à 300 mètres; sur quelques points seulement du tracé, qui présente sur le versant de l'Est une inclinaison moyenne de 0m,0185, on a abaissé le rayon des courbes à 194 mètres, en réduisant par contre dans ces courbes l'inclinaison à 0m,0145. On est ainsi parvenu à réduire notablement les terrassements, et en maintenant le tracé plus haut, on a diminué beaucoup les chances d'encombrement de la voie par la neige[1].

D'autres ingénieurs ont enfin voulu tracer des règles pour apprécier la valeur en argent de l'économie à attendre, pour une ligne donnée, d'un raccourcissement ou d'un changement de tracé comportant une nouvelle distribution des pentes et des courbes. Il entre dans une semblable évaluation trop d'éléments susceptibles de varier avec les conditions de l'exploitation, la nature et l'importance du trafic de chaque ligne, pour qu'on ait pu formuler en pareille matière des règles méritant quelque confiance.

Les chiffres donnés, pour une même ligne, par les ingénieurs qui se sont occupés de cette évaluation, présentent souvent des différences considérables[2].

Nous allons maintenant entrer dans quelques détails sur le tracé des lignes les plus importantes, en commençant par les lignes traversant les Alleghanies, qui ont été le principal champ d'études des ingénieurs américains.

1° CHEMINS DE FER TRAVERSANT LES ALLEGHANIES.

Chemin de fer de Baltimore et Ohio.

Le chemin de fer de Baltimore et Ohio est le premier qui ait été ouvert à travers les Alleghanies. Nous avons déjà vu que la construction en avait été entreprise par l'État de Maryland, à la suite de l'ouverture du canal Érié qui, en détournant par l'État de New-York la plus grande partie du commerce des États de l'Ouest avec

1. Cet exemple est extrait du *Manuel* de G. Vose à l'usage des ingénieurs des chemins de fer.

2. Pour ne citer qu'un exemple, sur le réseau pennsylvanien, un raccourcissement d'un kilomètre procurerait une économie évaluée en capital :

par M. Herman Haupt, à....... 1,340,000 francs.
par M. A. Wellington, à........ 714,000 »

les ports de l'Atlantique, menaçait de porter une sérieuse atteinte à la prospérité du port de Baltimore.

La ligne du Baltimore et Ohio, tracée de manière à s'écarter le moins possible du territoire de l'Etat du Maryland, réduit vers l'Ouest à une zone extrêmement étroite entre la Pennsylvanie et la Virginie occidentale, franchit une des parties du massif des Alleghanies où la traversée des chaînes isolées et parallèles qui caractérisent le système de ces montagnes présente le plus de difficultés, à cause de leur multiplicité et de leur grande élévation.

Sur la première section de cette ligne (pl. II, fig. 3) s'étendant de Baltimore à Piedmont, et comprenant une longueur de 332 kilomètres, le tracé passe d'abord de la vallée du Patapsco, dont l'embouchure forme le port de Baltimore, dans celle du Potomac, en franchissant à 230 mètres d'altitude le faîte du mont Airy; puis il s'engage avec le Potomac, à partir de Point of Rocks, dans les étroits défilés par lesquels ce cours d'eau se fait jour à travers une première chaîne de montagnes (*Blue ridge*), et le suit jusqu'à Piedmont, à la base du massif principal des Alleghanies. A part des déclivités de $0^m,016$ par mètre, que l'on rencontre de part et d'autre du faîte du mont Airy, le profil en long n'admet sur toute cette section que des pentes et rampes de $0^m,007$ d'inclinaison maxima.

Dans la deuxième section, de 119 kilomètres de longueur, entre Piedmont et Grafton, où se trouve comprise tout entière la traversée des Alleghanies, la voie ferrée, quittant la vallée du Potomac, s'élève d'abord, par une rampe continue de $0^m,022$ sur 27 kilomètres, jusqu'au faîte séparatif des versants du Mississipi et de l'Atlantique qu'elle atteint à Altamont, à l'altitude de 799 mètres; puis, après s'être maintenu quelque temps sur un plateau où il ne présente qu'une pente totale de 22 mètres sur un parcours de 30 kilomètres, le tracé descend par une pente de $0^m,022$ vers le bassin de l'Ohio, où il traverse successivement plusieurs vallées secondaires, en franchissant au souterrain de Kingwood, le plus long de la ligne, dont le profil en long est donné pl. II, fig. 6, un deuxième faîte élevé de 555 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Ce souterrain se trouve à l'origine d'une dernière pente conduisant à la station de Grafton, dont l'inclinaison s'élève à $0^m,017$ et à $0^m,020$ dans certaines parties, ainsi que sur la rampe précédant le souterrain de Kingwood.

Dans la troisième section de 160 kilomètres, comprise entre Graf-

ton et Wheeling, la ligne franchit ensuite, au moyen d'une série de pentes et contre-pentes dont l'inclinaison ne dépasse pas $0^m,013$, plusieurs faîtes situés entre les vallées de l'Ohio et de la Monongahela, et suit enfin la vallée de l'Ohio jusqu'à Wheeling, point de départ d'un double embranchement aboutissant, d'une part, à Sandusky, sur le lac Érié, et, d'autre part, à Chicago, sur le lac Michigan.

La ligne du Baltimore et Ohio rejoint en outre la vallée de l'Ohio par une autre branche de 167 kilomètres, se dirigeant par Parkersburg vers Cincinnati, où l'inclinaison des pentes ne dépasse pas $0^m,010$.

Sur tout le parcours du tronc principal jusqu'à Grafton, et des deux embranchements de Grafton à Wheeling et à Parkersburg, qui traversent une série de rameaux de la chaîne des Alleghanies, le terrain est extrêmement accidenté : on ne compte pas moins de 25 tunnels sur le tronc principal ; il y en a 5 entre Grafton et Wheeling et 23 entre Grafton et Parkersburg. On rencontre en outre sur plusieurs points de fortes tranchées : la plus profonde, située près de Baltimore, remonte à l'époque des premiers travaux de la ligne : elle a 25 mètres de profondeur. Par contre, les hauts remblais y sont rares. On les a évités en multipliant les viaducs (*trestles*).

La plupart des ponts et viaducs sont en fer : la forme du système Bollman y a reçu d'assez nombreuses applications. Il existe en outre aux abords de Baltimore plusieurs ponts en maçonnerie, qui datent des premières années de la construction. Les ponts en bois ont disparu à la suite de la guerre de la sécession, pendant laquelle un grand nombre avaient été incendiés à plusieurs reprises, notamment dans la vallée du Potomac, formant la frontière entre le Maryland et la Virginie, qui fut le théâtre de nombreux engagements : on cite, entre autres, un viaduc de 200 mètres dans la vallée de la Monongahela, qui a été reconstruit cinq fois.

Sur toute sa longueur entre Baltimore et Wheeling, la ligne du Baltimore et Ohio est à double voi[illegible],435 de largeur ; quelques parties seulement, ne formant pas en totalité une longueur de 75 kilomètres, ont été établies à voie unique.

Le réseau du Baltimore et Ohio avec les embranchements qui lui appartiennent en propre, qu'il a affermés ou qu'il exploite, s'étend jusqu'aux lacs Érié et Michigan (*Chicago et Erie divisions*) ; il pénètre par d'autres embranchements dans l'Indiana jusqu'à Columbus et dans la Pennsylvanie jusqu'à Pittsburg (*Ohio Central*,

Wheeling et Pittsburg branches); d'autres embranchements se dirigent en outre sur Washington, et vers le centre de la Virginie, en suivant la vallée de la Shenandoah. Le Baltimore et Ohio R.R. embrasse un développement total de 2365 kilomètres.

En étendant l'action de son réseau, la Compagnie du Baltimore et Ohio R.R. a senti la nécessité d'améliorer les conditions de son exploitation par l'adjonction de nouvelles lignes, destinées à lui ouvrir un accès à la fois plus direct et plus facile vers la région industrielle dont Pittsburg est le centre, et vers la région des lacs où se trouvent les principaux entrepôts du commerce des céréales.

Elle a affermé tout récemment, dans ce but, l'embranchement, terminé en 1873, de Cumberland à Pittsburg par Connellsville, qui quitte le tronc principal du Baltimore et Ohio à la station de Cumberland où finit le canal de Chesapeake et Ohio, et descend sur Pittsburg en suivant la vallée du Youghiogheny, affluent de la Monongahela, après avoir traversé la chaîne des Alleghanies, entre Bridgeport et Mineralpoint. Sur cet embranchement, qui franchit la ligne de faîte des Alleghanies au souterrain de Sandpatch, à une altitude de 684 mètres, les rampes montant vers l'Ouest ont été réduites à $0^m,016$, et celles montant vers l'Est à $0^m,010$.

La Compagnie du Baltimore et Ohio se propose de prolonger cet embranchement, à partir de Pittsburg en ligne presque droite vers le point de bifurcation, situé près de Shelby (Ohio), où l'embranchement actuel de Chicago quitte celui qui, de Columbus, se dirige vers Sandusky, de manière à obtenir pour les transports sur Chicago un raccourcissement notable de parcours, et à réduire en même temps les déclivités à franchir à un maximum de $0^m,005$, depuis le pied du versant occidental des Alleghanies jusqu'à Chicago sur 970 kilomètres environ [1].

De plus, sur le versant de l'Atlantique, les trains partant de

---

1. La distance de Baltimore à Chicago, par la ligne principale et l'embranchement de Wheeling, est actuellement de 1352 kilomètres; elle sera réduite par la nouvelle ligne à 1291 kilomètres, se décomposant ainsi qu'il suit :

Baltimore à Cumberland.............	287 kilomètres.
Cumberland à Pittsburg..............	242 —
Pittsburg à Chicago junction.........	326 —
Chicago junction à Chicago...........	436 —

Ce dernier embranchement, presque rectiligne sur toute sa longueur, ne présente pas de déclivités supérieures à $0^m,005$.

Washington à la destination de la vallée de l'Ohio, évitent maintenant les fortes rampes du mont Airy, en suivant un embranchement spécial dit *Metropolitan branch*, de 69 kilomètres de longueur, se raccordant avec le tronc principal à Point of Rocks, sur lequel les déclivités ne dépassent pas $0^m,01$, et où les courbes ne descendent pas au-dessous de 300 mètres de longueur de rayon.

En empruntant ce dernier embranchement jusqu'à Point of Rocks, puis la ligne principale jusqu'à Cumberland, enfin l'embranchement de Connellsville, depuis Cumberland jusqu'à Pittsburg, les trains ont à parcourir seulement, entre cette dernière ville et Washington, une distance de 485 kilomètres sans rencontrer des rampes de plus de $0^m,01$ dans un sens, ni de $0^m,016$ dans l'autre.

Le chemin de fer de Baltimore et Ohio considéré en Amérique, à l'époque de sa construction, comme un chef-d'œuvre de hardiesse et recommandé encore vingt ans après son exécution par le Congrès des États-Unis, comme type à suivre par les ingénieurs chargés de construire le chemin de fer du Pacifique, n'a pas cessé de tenir un rang éminent parmi les chemins de fer des États-Unis, grâce aux soins qui ont été apportés pour améliorer son exploitation et étendre son trafic.

Chemins de fer du réseau Pennsylvanien.

Le Central pennsylvanien, dont le profil en long est donné pl. III, fig. 1, est également une des grandes lignes qui doivent leur naissance à l'impulsion donnée aux travaux des voies de communication de part et d'autre de la chaîne des Alleghanies par l'ouverture du canal Erié. Dans l'État de Pennsylvanie, qui avait été un des premiers à construire des routes, et qui, dès 1807, possédait une route allant de Philadelphie à Pittsburg, il existait déjà en 1827 une vingtaine de kilomètres de voies ferrées affectées au transport des charbons des mines de Mauch-Chunk, et exploitées à l'aide de chevaux et de machines fixes. A la même époque, l'État de Pennsylvanie avait d'autre part entrepris, sur les deux versants des Alleghanies, l'établissement de voies navigables qui ne présentaient plus en 1834 que deux lacunes, l'une à travers cette chaîne de montagnes, de Hollidaysburg (versant est) à Johnston (versant ouest), l'autre, entre la Delaware et la Susquehanna, de Philadelphie à Columbia.

Pour combler le plus rapidement possible ces deux lacunes, deux chemins de fer furent alors commencés, l'un à travers les Alleghanies, dit de Portage, de 57 kilomètres de longueur, l'autre de Philadelphie à Columbia sur 119 kilomètres.

Ce deuxième chemin de fer présentait une partie centrale, tracée avec des courbes de 180 mètres de rayon et des pentes maxima de 0m,008, et comprise entre deux plans inclinés exploités par des machines fixes : ces plans inclinés avaient respectivement des inclinaisons de 0m,07 et 0m,05 par mètre; entre leurs sommets, la traction était faite par des chevaux.

Voyageurs et marchandises, à destination de la vallée de l'Ohio, étaient ensuite transportés par des bateaux sur la Susquehanna et la Juniata jusqu'à Hollidaysburg, et un autre chemin de fer à plans inclinés et machines fixes, servait à franchir les 57 kilomètres de distance séparant Hollidaysburg de Johnston. Il y avait dix de ces plans inclinés, cinq sur chaque versant, d'une inclinaison variant entre 0m,07 et 0m,10.

Ce dernier chemin de fer, qui a été exploité pendant vingt ans sous le nom de Portage Railroad, avait cela de particulier qu'on y chargeait sur des trucs les bateaux divisés à cet effet en deux sections qu'on assemblait en forme de trains sur les voies navigables.

C'est seulement en 1846 que s'est constituée la Compagnie des chemins de fer de Pennsylvanie, dont la ligne principale, celle de Philadelphie à Pittsburg, a utilisé jusqu'en 1852 la voie du Portage R.R.

Le tracé de cette ligne emprunte d'abord, de Philadelphie à Lancaster, l'ancienne ligne de Philadelphie à Columbia, dont on a adouci la forte rampe initiale et les courbes trop prononcées; puis il remonte successivement les vallées de la Susquehanna et de la Juniata, et atteint ainsi la station d'Altoona, située à 358 mètres au-dessus du niveau de la mer et à une distance de 381 kilomètres de Philadelphie, sans présenter de déclivité supérieure à 0m,009 par mètre de Philadelphie à Harrisburg, ni à 0m,004, de Harrisburg à Altoona.

A Altoona commence l'ascension de la chaîne des Alleghanies; la voie ferrée s'élève en se développant sur une série de contreforts de cette chaîne, dont elle atteint le faîte à la sortie du souterrain de Galitzin, de 1120 mètres de longueur. L'inclinaison de la rampe,

depuis Altoona jusqu'à ce faîte, élevé de 659 mètres au-dessus du niveau de la mer, est en moyenne de 0^{m},016 sur 17^{k},7 et ne dépasse pas 0^{m},018 en ligne droite, ni 0^{m},0155 en courbe de 218 mètres de rayon. Cette partie de la ligne où se trouve le grand tournant de *Horse Shoe* (fer à cheval) rappelle, par les difficultés d'exécution qu'elle a présentées et la manière dont elles ont été surmontées, les tracés du Semmering et du Brenner.

La descente sur le versant de l'Ohio se fait ensuite par les vallées de Clearfield et de Conemaugh jusqu'à Blairville où la ligne se divise en deux branches se rejoignant à Pittsburg, et suivant, l'une, le cours de l'Alleghany, l'autre, celui de la Monongahela, dont la réunion à Pittsburg forme l'Ohio. Les pentes ne dépassent pas dans cette section l'inclinaison de 0^{m},010 par mètre; cette inclinaison est, par conséquent, la plus forte qu'aient à gravir les trains à pleine charge qui transportent, de Pittsburg à Philadelphie, les charbons et les produits métallurgiques de la Pennsylvanie occidentale.

Le chemin de fer de Philadelphie à Pittsburg, exécuté dans des conditions moins difficiles que celui du Baltimore et Ohio, n'a pas donné lieu à un aussi grand nombre d'ouvrages d'art; les souterrains y sont beaucoup moins multipliés, aussi bien que les viaducs, remplacés sur certains points par des remblais d'une grande hauteur. On estime néanmoins que les 569 kilomètres de Philadelphie à Pittsburg n'ont pas coûté moins de 210 millions de francs, soit environ 370 000 francs par kilomètre. Construit par l'État de Pennsylvanie avec une subvention de 20 millions de la ville de Philadelphie, puis vendu en 1857, à la Compagnie actuelle, ce chemin de fer est devenu entre ses mains l'artère principale d'un vaste réseau [1] embrassant presque tout le territoire de la Pennsylvanie, et, de plus, une partie des territoires des États voisins de New-Jersey et de Maryland; ce réseau s'étend aujourd'hui de l'Est à l'Ouest, depuis New-York jusqu'à Pittsburg, et du Nord au Sud, depuis Baltimore jusqu'à Érié City, sur le lac du même nom, et comprend en totalité 2520 kilomètres.

La ligne principale, de Philadelphie à Pittsburg, est à double voie de 1^{m},445 de largeur sur la plus grande partie de sa longueur; il existe même une troisième et une quatrième voie sur d'autres lignes du même réseau, notamment entre New-York et Philadelphie.

1. La carte de ce réseau est donnée pl. 1, fig. 2.

Indépendamment des chemins de fer énumérés ci-dessus, la Compagnie du Pennsylvania R.R. exploite le canal de la Delaware à la baie de Raritan sur 106 kilomètres, et elle a la haute main, par suite du rachat qu'elle a fait d'actions et d'obligations de diverses compagnies, sur plus de 8000 kilomètres de lignes dans les États de Virginie, Georgie, Indiana, Ohio, Illinois, qui prolongent son réseau d'une manière plus ou moins effective jusqu'à Richmond au Sud, et jusqu'à Chicago, Louisville et Saint-Louis à l'Ouest. Elle a, en outre, des intérêts dans un grand nombre de mines de la Pennsylvanie.

De 1872 à 1874, pour s'assurer à travers les Alleghanies une voie de transport qui lui permît de lutter plus avantageusement avec les voies navigables aboutissant à New-York, la Compagnie du Pennsylvania R.R. a subventionné, entre les vallées de la Susquehanna et de l'Alleghany, la construction d'un embranchement spécial de 177 kilomètres, dit *Lowgrade division* ou section à faible pente, qui réduit entre Harrisburg et Pittsburg l'inclinaison des rampes à gravir, à 0^{m},003 sur le versant occidental des Alleghanies, et à 0^{m},009 sur l'autre versant.

Cette nouvelle ligne, dont le profil en long est donné pl. III, fig. 1, continue à remonter, à partir de Harrisburg jusqu'à Driftwood, la vallée de la Susquehanna, en empruntant successivement la ligne du Northern-Central jusqu'à Sunbury, puis le Philadelphia et Érié R.R., et elle rejoint le chemin de fer de l'Alleghany Valley, qui aboutit à Pittsburg, à la station de Redbank, après avoir franchi un faîte de [illegible]28 mètres seulement d'altitude. Elle doit être prolongée ultérieurement jusqu'au Mississipi, dans des conditions de profil extrêmement favorables, à travers les États d'Ohio, Indiana et Illinois ; la Compagnie espère ainsi procurer aux transports, en tout temps, une voie aussi économique et beaucoup plus rapide que celle des lacs et du canal Érié.

En s'incorporant, d'autre part, la Société d'exploitation, connue sous le nom d'*Empire transportation Company*, qui disposait d'un matériel roulant considérable et d'entrepôts importants, la Compagnie du Pennsylvania R.R. a fini par devenir maîtresse de tous les transports s'effectuant dans les pays que couvre son réseau.

Le réseau Pennsylvanien, puisant, dans la production des mines et des manufactures des contrées qu'il dessert, les éléments d'un

trafic considérable auquel vient s'ajouter celui que lui apportent les nombreuses lignes tributaires qu'il tient sous sa dépendance, et aboutissant à la fois à Philadelphie et à New-York, les deux plus grands ports de l'Atlantique en même temps que les deux plus grandes villes des États-Unis, occupe aujourd'hui un des premiers rangs parmi les chemins de fer de l'Union. C'est en outre un des chemins de fer d'Amérique qui, par l'importance et la perfection de son exploitation, présentent le plus d'analogie avec les grandes lignes européennes.

Chemin de fer de l'Érié.

Le chemin de fer de l'Érié, dont la construction a été commencée en 1836, et dont l'ouverture a eu lieu tout d'abord de Piermont à Goshen, dans la vallée de l'Hudson, pour se terminer sur l'une de ses principales sections, en 1851, à Dunkirk sur le lac Érié, a été établi avec une voie de 6 pieds ($1^m,83$). Il a été entrepris pour compléter dans l'État de New-York le système des communications avec la région des Grands Lacs, déjà inauguré par l'ouverture du canal Érié.

La législature de cet État, en accordant à une Compagnie, en 1832, la concession du chemin de l'Érié, stipula qu'il serait sur tout son parcours établi sur le territoire de l'État, et, sous cette dernière condition, elle consentit à lui avancer une somme de 15 millions de francs dont elle renonça plus tard (en 1845) à exiger le remboursement, en imposant à la Compagnie l'obligation de terminer en six ans toute la ligne.

La Compagnie fut en outre ultérieurement autorisée à emprunter le territoire de la Pennsylvanie sur une portion de son parcours, et, pour se relier plus directement avec New-York, à affermer à perpétuité diverses lignes du New-Jersey, notamment les embranchements de Paterson et de Ramapo.

Astreint par les clauses de l'acte de concession à sortir le moins possible du territoire de l'État de New-York, et intéressé, pour procurer un aliment assuré à son trafic, à se rapprocher des bassins houillers de la Pennsylvanie, le réseau de l'Érié (pl. II, fig. 2) s'écarte peu dans sa partie occidentale de la limite des deux États de Pennsylvanie et de New-York; il dirige d'autre part divers embranchements, au Nord, vers les lacs Érié et Ontario, au Sud-

Est, vers le centre de l'État de New-Jersey et la rive droite de l'Hudson sur laquelle il se prolonge jusqu'à Jersey City, en face de New-York; d'autres embranchements plus courts relient en outre le tronc principal aux districts houillers de la Pennsylvanie et à la partie supérieure de la vallée de l'Hudson.

La ligne principale, partant de Jersey City, dont le profil en long est donné pl. II, fig. 1, après avoir suivi un affluent de l'Hudson, le Ramapo, franchit par une série de défilés le faîte séparatif des bassins de l'Hudson et de la Delaware qu'il traverse en tranchée de 15 mètres de profondeur à l'altitude de 275 mètres; puis elle descend vers Port Jervis, origine du canal mettant en communication les deux fleuves. La plus forte rampe sur cette première section est de $0^{m},011$; la plus forte pente, de $0^{m},009$.

Le tracé, remontant ensuite la vallée de la Delaware jusqu'à Deposit, franchit un autre faîte élevé de 419 mètres au-dessus du niveau de la mer, pour passer dans la vallée de la Susquehanna, où il descend avec une pente de $0^{m},011$ par mètre; puis, après avoir abandonné la vallée de la Susquehanna pour celle de son affluent, le Chemung, la ligne se divise aux stations de Corning et de Hornellsville en trois embranchements dirigés, le premier, vers Rochester sur le canal Érié, le second, vers Buffalo et le pont du Niagara, le troisième, vers Dunkirk, port sur le lac Érié.

Le premier de ces embranchements atteint, avec des rampes qui ne dépassent pas $0^{m},006$, le plateau couvert de lacs dont le canal Érié occupe la base, et descend ensuite vers Rochester par la vallée du Gennessee.

Le deuxième, qui part d'Hornellsville, gagne, avec des rampes dont la déclivité maxima est $0^{m},008$, le faîte séparatif des vallées du Chemung et du Gennessee, et, après avoir traversé cette dernière vallée sur le viaduc de Portage, haut de 70 mètres, atteint Buffalo avec de faibles déclivités. Cet embranchement est relié au précédent par un embranchement secondaire de 56 kilomètres, d'Attica à Avon. Il se prolonge en outre au delà de Buffalo jusqu'au pont suspendu du Niagara, pour se relier au réseau des chemins de fer canadiens.

L'embranchement de Dunkirk s'élève par une rampe de 0,010 et de 20 kilomètres de longueur sur un plateau qui se continue presque jusqu'à Dunkirk en présentant, à la traversée des hautes vallées du Gennessee et de l'Alleghany, de légères ondulations.

Le chemin de fer de l'Érié comprend en outre un grand nombre d'embranchements secondaires généralement courts, où l'on rencontre des déclivités ne dépassant pas 0,013, sauf sur l'embranchement de Bradford, situé dans la haute vallée de l'Alleghany, où elles atteignent 0,02 et 0,025. Ces déclivités sont franchies à la descente par les trains chargés de charbon dirigés de Gilesville, terminus de la ligne, sur Carrollton, origine de la bifurcation : la distance entre ces deux points est de 40 kilomètres.

Le réseau de l'Érié, qui passe à juste titre pour un des mieux étudiés et des mieux construits des réseaux américains, a cela de remarquable qu'il ne renferme qu'un seul souterrain, celui de Bergen, situé près de Jersey City, et un nombre relativement restreint de ponts et viaducs.

Les ponts ont fait l'objet de nombreuses reconstructions dans ces dernières années et il n'en existe plus en bois.

Le réseau de l'Érié a un développement total de 1507 kilomètres dont moitié environ avec double voie. Excluant partout les fortes déclivités, le tracé général de ses lignes est plus favorable à l'économie des transports que celui des autres réseaux précédemment décrits. On n'a rien négligé pour apporter dès le commencement à l'établissement de la voie des améliorations qui, sur la plupart des autres grandes lignes, ne sont venues qu'à la suite du développement du trafic, et on n'a pas hésité à entreprendre en cours d'exécution des rectifications de tracé fort importantes pour placer immédiatement l'exploitation dans les meilleures conditions[1]. Malheureusement, la construction de ce réseau qui est revenue à 700 000 francs environ par kilomètre, laisse peser une charge fort lourde sur la Compagnie concessionnaire, et son trafic annuel, qui se chiffrait en 1874-1875 par 5 millions de voyageurs et 6 millions de tonnes de marchandises, malgré son importance, n'a pas été jusqu'à présent suffisamment en rapport avec ses frais d'exploitation. La grande largeur de voie, qui a beaucoup contribué à rendre si coûteuse la construction du réseau de l'Érié, le plaçait d'ailleurs, jusque dans ces derniers temps, dans un isolement relatif, auquel

1. C'est ainsi que sur l'embranchement de Hornellsville à Dunkirk, on a abandonné 96 kil. de voie sur lesquels on avait déjà dépensé 5 millions de francs pour obtenir un raccourcissement de 8 kil. et ramener des déclivités de $0^m,011$ et $0^m,013$ à $0^m,0075$ et $0^m,0094$.

les moyens perfectionnés de transbordement, que nous décrirons plus loin, ne lui permettaient pas de remédier efficacement, et qui l'empêchait d'étendre son rayon d'action comme les autres compagnies. Pour remédier à cet inconvénient, la Compagnie de l'Érié R.R. a été conduite à entreprendre la pose d'un troisième rail correspondant à la voie normale. Cette pose est aujourd'hui exécutée de Jersey City à Buffalo sur 680 kilomètres, et elle paraît devoir se poursuivre progressivement sur tout le réseau.

Chemins de fer du New-York Central et Hudson River et de Boston à Albany.

Le New-York Central et Hudson River R.R., formé par la fusion en 1869 de deux lignes, le New-York Central, d'Albany au Niagara, et l'Hudson River R.R., de New-York à Albany, emprunte son importance à l'énorme mouvement de grains et de bois qui, de la région des grands lacs, vient aboutir principalement à New-York et à Boston, et dont le système des voies navigables de l'État de New-York a puissamment secondé le développement.

Cette ligne se distingue de celles que nous avons précédemment décrites par deux traits caractéristiques : son parallélisme avec un réseau de voies navigables, et les facilités que son tracé offre pour soutenir la concurrence avec ces voies. Depuis le Niagara jusqu'à l'Hudson, elle côtoie sur une grande partie de sa longueur le canal Érié, et elle suit ensuite depuis Albany jusqu'à New-York le cours de l'Hudson. D'autre part, sur le plateau faiblement ondulé où elle longe le canal Érié, comme dans la vallée de l'Hudson, la voie ferrée a pu être établie, sauf sur un petit nombre de points, avec de faibles déclivités et des courbes de grand rayon.

Le New-York Central R.R. proprement dit présente tout d'abord à son extrémité nord-ouest une série d'embranchements se raccordant avec les chemins de fer du Canada, les uns un peu au-dessous de Buffalo, où ils se relient par le pont International avec le Canada Southern et le Grand Trunk, les autres au pont suspendu du Niagara, où aboutit le Great Western canadien. Ces embranchements, en relation en outre à Buffalo et à Tonawanda, sur les bords du Niagara, avec la ligne du Lake Shore et Michigan qui se continue le long des lacs jusqu'à Chicago, et avec le réseau de l'Érié, font converger vers Rochester tout le mouvement des mar-

chandises, qui se trouve concentré à partir de cette ville jusqu'à Albany sur une ligne unique, où il s'accroît en route du tribut de plusieurs lignes transversales, notamment de celles qui, partant respectivement de Syracuse et d'Utica, aboutissent, l'une, au port d'Oswego, sur le lac Ontario, l'autre, à Ogdensburg, sur le Saint-Laurent.

Ce mouvement se divise ensuite à Albany et à Troy, par parties à peu près égales, entre les lignes dirigées de ces deux villes vers les ports de la Nouvelle-Angleterre et vers New-York.

Première section. — Dans la première partie du réseau du New-York Central, comprise entre Buffalo et Rochester, le profil en long, sur le tronc principal, ne présente pas de déclivité supérieure à $0^m,006$, sauf sur de faibles longueurs comprises entre Rochester et le point culminant de Batavia, situé à 278 mètres d'altitude, où quelques rampes montant vers l'Ouest atteignent $0^m,016$, et nécessitent l'emploi de machines de renfort. Les courbes n'ont pas moins de 290 mètres de rayon.

Deuxième section. — A Rochester, situé à 111 kilomètres de Buffalo, la ligne franchit le canal Érié sur un pont précédé d'une rampe de $0^m,008$ et suivi de pentes de $0^m,012$ et $0^m,021$, dont la longueur ne dépasse pas 300 mètres. Il existe aussi, au delà de Rochester, un certain nombre de rampes dont l'inclinaison atteint $0^m,009$, et qui sont gravies, comme celles de Rochester, avec des machines de renfort. Puis on ne rencontre plus que des déclivités extrêmement faibles jusqu'à Schenectady, d'où l'on descend ensuite vers Albany, après avoir franchi un faîte élevé seulement de 105 mètres au-dessus du niveau de la mer, par une pente de $0^m,015$ à $0^m,016$ de 2,700 mètres de longueur, sur laquelle on trouve des courbes de 290 mètres de rayon minimum. La portion de la ligne comprise entre Schenectady et Albany, qui date de 1831, a été d'abord exploitée sous le nom de Mohawk et Hudson R.R., à l'aide de machines fixes.

La distance entre Rochester et Albany est de 400 kilomètres.

Le chemin de fer du New-York Central, formé, comme on le sait, de la réunion de plusieurs tronçons construits de 1831 à 1842, n'a donné lieu presque partout qu'à des terrassements peu importants; les ouvrages d'art consistent principalement en ponts en treillis en fer, de 27 à 45 mètres d'ouverture, sur le canal Érié et sur les canaux et cours d'eau qui l'alimentent. Il n'existe que deux

souterrains parallèles de 60 mètres de longueur chacun, au moyen desquels la ligne passe par dessous le canal Érié à Syracuse.

A Albany, où commence l'Hudson River R.R., l'Hudson est franchi par deux grands ponts à double voie l'un et l'autre, et servant exclusivement, l'un, aux trains de voyageurs, l'autre, aux trains de marchandises. Ces deux ponts, d'une longueur de 600 mètres environ chacun, comprennent plusieurs travées fixes de 55 mètres et des doubles travées tournantes de 84 mètres.

Troisième section. — Entre Albany et New-York, la ligne, qui occupe constamment, sur un parcours de 228 kilomètres, la rive gauche de l'Hudson, dont elle épouse toutes les sinuosités, plus multipliées qu'accentuées, est tracée partout avec des déclivités ne dépassant pas $0^{m},006$, sauf aux abords de New-York, où ce chiffre est légèrement dépassé; sur quelques points seulement se rencontrent des courbes et contre-courbes de 300 et de 270 mètres de rayon, séparées par des alignements droits de 100 mètres.

La plate-forme domine de $1^{m},50$ à 3 mètres les plus hautes eaux de l'Hudson, dont le niveau éprouve, entre New-York et Albany, des oscillations de $0^{m},60$ à $1^{m},50$ par l'effet des marées.

Les principaux ouvrages d'art de cette section consistent en 10 tunnels percés dans la roche trappéenne et sans revêtement, dont le plus long ne dépasse pas 180 mètres, et en un certain nombre de ponts en bois et en fer. Les ponts métalliques, au nombre de 40, sont, soit en poutres à double T à âme pleine pour les portées inférieures à 10 mètres, soit en treillis pour les plus grandes, qui ne dépassent pas 23 mètres.

Depuis Rochester jusqu'à Albany, l'importance du trafic a déterminé la Compagnie à établir une quadruple voie; deux voies, au Nord, sont affectées au service des marchandises; deux, au Sud, à celui des voyageurs. Les gares de marchandises et de voyageurs sont en conséquence établies de part et d'autre de la ligne. Entre New-York et Albany, on a pu se contenter jusqu'à présent de deux voies avec des garages formant ensemble une longueur de 24 kilomètres. La ligne entre Rochester et Buffalo est également à double voie; les embranchements sont généralement à voie unique.

Moyennant l'emploi de machines de renfort sur les points indiqués comme correspondant à des rampes égales ou supérieures à $0^{m},008$, le service des marchandises se fait sur toute la longueur de la ligne principale, de New-York à Buffalo, par trains de 42 wagons

représentant un poids brut total d'environ 920 tonnes et un poids utile d'environ 500 tonnes.

La longueur totale du réseau exploité par la Compagnie est de 1600 kilomètres; la largeur de la voie est de $1^m,44$.

En relation avec tous les ports situés sur la frontière nord-ouest de l'Etat de New-York et avec les principales lignes du Canada, et se prêtant à un grand développement de trafic, par suite des conditions généralement favorables de son tracé, dont un système d'exploitation bien combiné corrige les défectuosités localisées sur de très faibles longueurs, le réseau du New-York Central et Hudson River R.R. n'a pas tardé à devenir pour les voies navigables parallèles un concurrent redoutable; il a même fini par les dépasser en importance, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant, qui permet en outre de comparer son trafic à celui de la ligne rivale de l'Érié :

ANNÉES.	NOMBRE DE TONNES TRANSPORTÉES A UN KILOMETRE PAR		
	CANAUX.	NEW-YORK CENTRAL ET HUDSON RIVER R. R.	ÉRIÉ R. R.
1860.....	1,297,000,000	318,000,000	342,000,000
1868.....	1,654,000,000	586,000,000	954,000,000
1873.....	1,691,000,000	1,944,000,000	1,651,000,000

Autres lignes aboutissant à Albany. — A Albany, le réseau que nous venons de décrire se soude à deux autres lignes importantes :

1° La ligne d'Albany à la Susquehanna, qui va rejoindre par les plateaux, avec des déclivités maxima de $0^m,0135$, le grand bassin houiller de la Pennsylvanie, et se relie à Binghampton, sur la Susquehanna, au chemin de l'Érié et à celui de Delaware, Lackawanna et Western, aboutissant à Scranton, près des exploitations de Wilkesbarre. Cette ligne a une longueur de 306 kilomètres.

2° La ligne d'Albany à Boston (pl. III, fig. 2), une des plus anciennes de la Nouvelle Angleterre, également à voie de $1^m,44$. Cette ligne, qui est à double voie et présente une longueur totale de 324 kilomètres, traverse successivement deux faîtes, un premier faîte de 276 mètres d'altitude, entre Boston et la vallée du Connecticut, avec des déclivités ne dépassant pas $0^m,01$, puis, entre le Connecticut et l'Hudson, un deuxième faîte de 442 mètres d'altitude, à

la traversée d'une ramification des Alleghanies, avec des rampes et pentes de $0^{m},014$ à $0^{m},015$ de part et d'autre du faîte.

La ligne de Troy et Greenfield, ouverte récemment entre Boston et Troy par suite du percement du souterrain de Hoosac, long de 7645 mètres, abrège de 6 kilomètres le parcours entre Albany et Boston, en présentant des déclivités notablement moindres que la précédente, entre le Connecticut et l'Hudson. Ces déclivités ne dépassent pas $0^{m},01$, et le point le plus élevé de cette partie de la ligne est à l'altitude de 256 mètres.

Cette nouvelle ligne, destinée à faire concurrence à la précédente, a été entreprise par l'État de Massachusetts dans le but d'accroître les relations commerciales du port de Boston avec les États de l'Ouest, dont il reçoit une grande quantité de produits [1].

Chemin de fer de Chesapeake et Ohio.

Le chemin de fer de Chesapeake et Ohio, qui va de Richmond, capitale de la Virginie, à Huntington, ville située sur l'Ohio, à 192 kilomètres en amont de Cincinnati, était dans le principe destiné, comme la plupart des précédents, à combler, à travers les Alleghanies, une lacune entre les voies navigables situées de part et d'autre de cette chaîne de montagnes [2]. Situé tout entier sur le sol

1. D'après un rapport déjà cité de M. Mac Alpine, le mouvement des grains se répartissait en 1872 entre les principaux ports des États-Unis et du Canada de la manière suivante :

PORTS.	NOMBRE DE TONNES DE CÉRÉALES.	
	Reçues.	Exportées.
Montréal	440,000	400,000
Boston	420,000	100,000
New-York	2,260,000 *	1,950,000
Philadelphie	600,000	180,000
Baltimore	460,000	290,000
	4,180,000	2,920,000

2. La question d'un canal à point de partage entre la rivière James et celle de Kanawha, affluent de l'Ohio, a été reprise il y a peu d'années par les ingénieurs du gouvernement des États-Unis et étudiée en particulier par M. le colonel Craighill dans un intéressant mémoire récemment publié.

* Dont 800 000 tonnes par chemins de fer.

de l'État de Virginie, il a fait, dès l'année 1836, l'objet d'une concession subventionnée par cet État, pour lequel il présentait un intérêt de premier ordre, tant à cause de l'importance des relations commerciales à desservir entre le littoral de l'Atlantique et la vallée de l'Ohio, qu'en vue de l'exploitation des richesses minérales de la Virginie occidentale, qui possède dans la région des Alleghanies, avec des gisements de houille (*cannel coal*) assez étendus, des minerais de fer d'une excellente qualité. Ce chemin de fer, aboutissant sur l'Atlantique à un bon port, d'un accès beaucoup plus commode que celui de Baltimore, qui est trop éloigné de l'entrée de la baie de Chesapeake, sera, lorsqu'il aura été relié avec les lignes de la vallée de l'Ohio par un embranchement dont il ne reste plus à exécuter qu'une longueur de 142 kilomètres, entre Huntington et Lexington, le chemin le plus court du littoral de l'Atlantique à la partie centrale de la vallée du Mississipi. Il joint à cet avantage celui de franchir la chaîne des Alleghanies, qui, sur cette partie du littoral, se rapproche plus que partout ailleurs de la côte, avec de moindres déclivités, en même temps qu'à une altitude moindre que le Baltimore et Ohio R.R., ce qui le soustrait au danger des interruptions par les neiges[1].

Le profil de cette ligne est donné pl. II, fig. 3.

La ligne du Chesapeake et Ohio, dont l'exécution, arrêtée par la guerre civile, n'a été reprise qu'assez longtemps après, a été souvent interrompue ; elle a été d'abord ouverte, avant la guerre, entre

1. Le tableau ci-après donne les distances des principales villes de l'Ouest aux grands ports de l'Atlantique :

Désignation du port.	Désignation du chemin de fer emprunté.	Distances en kilomètres de: Cincinnati.	Louisville.	St-Louis.	Memphis.	Nashville.	Chicago.
		aux ports de l'Atlantique.					
Richmond.......	Chesapeake-Ohio.	923	1035	1433	1642	1333	1341
Baltimore.......	Baltimore-Ohio...	934	1122	1495	1733	1423	1333
Philadelphie......	Pennsylvania	1076	1248	1597	1855	1546	1325
New-York.........	Érié............	1387	1605	1934	2180	1903	1583
Id.	New-York Central.	1422	1513	1841	2180	1894	1598

Richmond et Covington, sur la moitié de sa longueur ; mais ce n'est qu'en 1873 qu'elle a été achevée entre Covington et Huntington, sur un parcours total de 677 kilomètres ; elle est construite à une seule voie avec la largeur normale de $1^m,44$. Elle commence par s'élever par une succession de rampes et de pentes dont l'inclinaison ne dépasse pas $0^m,0142$, en se dirigeant d'abord perpendiculairement, puis parallèlement au cours de la rivière James, jusqu'à la crête de la chaîne du *Blue ridge*, qui forme la base des Alleghanies ; elle monte ensuite, avec une inclinaison maxima de $0^m,0157$, jusqu'au faîte de North Mountain, situé à l'altitude de 628 mètres, et redescend avec des pentes et des contre-pentes ne dépassant pas $0^m,0142$, jusqu'à la station de Cliftonforge, où elle rejoint la rivière de Jackson, affluent de la rivière James, un peu avant d'arriver à Covington.

A partir de ce point, qui est le plus bas de la section centrale de la ligne, après avoir atteint, par une rampe de $0^m,0113$, le faîte séparatif des bassins de l'Atlantique et du Mississipi près de la station d'Alleghany à la cote 625, le tracé redescend vers le bassin de l'Ohio avec une pente presque continue, ne dépassant pas $0^m,0055$, à peine interrompue par quelques rampes de moindre déclivité, en suivant la vallée du Kanawha River, sauf sur les 63 derniers kilomètres. Les fortes déclivités se trouvent en définitive concentrées dans la partie centrale de la ligne sur 184 kilomètres environ.

Grâce à la modération et à la bonne distribution des pentes, le service des trains de marchandises peut se faire sans machines de renfort, en limitant les poids des trains ainsi qu'il suit :

Nos D'ORDRE DES SECTIONS.	DÉSIGNATION DES SECTIONS.	LONGUEUR.	PENTE MAXIMA.	POIDS REMORQUÉ.
1re	De Richmond à Staunton..	220^k	$0^m,0142$	424^t
2e.........	De Staunton à Hinton.....	219	$0^m,0157$	263
3e.........	De Hinton à Huntington...	238	$0^m,0057$	509

Les plus fortes courbes ont, en général, encore un rayon de $166^m,50$ (546 pieds). Les courbes comptent dans le tracé pour 45 pour 100.

Le chemin de fer de Chesapeake et Ohio n'est pas moins remar-

quable par l'importance des terrassements et des ouvrages d'art que par son tracé. A la traversée de la chaîne principale des Alleghanies, il rencontre une série de gorges étroites et profondes dont la configuration extrêmement tourmentée a entraîné l'exécution de remblais multipliés, succédant à de fortes tranchées et à de nombreux souterrains coupant des contre-forts. Plus loin, le long du Kanawha River et de ses affluents profondément encaissés entre des rives très sinueuses, plusieurs souterrains ont dû également être exécutés pour éviter des tournants trop brusques.

Le nombre total des souterrains n'est pas de moins de 26 ; il y en a plusieurs en courbe de 220 mètres de rayon, et le plus long, celui de Great Bend, situé entre les stations de Talcott et de Hinton, qui évite un tournant du Greenbrier River, affluent du Kanawha, a 1965 mètres de longueur. Plusieurs tranchées ont des profondeurs de 20 à 30 mètres, et il existe des remblais de 43 mètres et 64 mètres de hauteur, à la traversée des torrents de Mos's Run et de Jerry's Run dont on a détourné les eaux au moyen de souterrains latéraux. Le remblai de Jerry's Run seul a absorbé près d'un million de mètres cubes.

On n'évalue pas à moins de 20 millions de francs le prix de la section de 33 kilomètres de longueur, située entre les stations de Covington et White Sulphur Springs.

Sur toute la partie la plus récemment construite, c'est-à-dire entre Covington et Huntington, tous les ponts sont en fer : le plus important comprend deux travées de 72 mètres de portée sur le New-River, affluent de la rivière de Kanawha; il existe en outre six ponts en maçonnerie de 12 à 18 mètres de portée, et quelques ponts en bois.

La ligne du Chesapeake et Ohio, commencée sous la direction de M. Charles Ellet et achevée sous celle de M. J. M. St-John, paraît appelée à faire aux autres lignes traversant les Alleghanies une sérieuse concurrence, lorsqu'au lieu de former impasse comme aujourd'hui, elle aura été reliée, non seulement avec Cincinnati et Louisville, par le prolongement actuellement projeté, mais encore avec Chattanooga et les lignes du Tennessee, par suite de l'achèvement de la ligne du Cincinnati-Southern. Les avantages qui résultent pour cette ligne de sa moindre longueur, comparée à celle des autres lignes ouvertes entre la partie centrale de la vallée de l'Ohio et l'Atlantique, de ses pentes modérées, et d'une meilleure situation

climatérique, lui ont déjà permis de s'emparer du transport de certaines marchandises, et, dès à présent, c'est par cette voie que les raffineries de pétrole de Pittsburg expédient vers l'Atlantique la plus grande partie de leurs produits transportés jusqu'à Huntington par bateaux sur l'Ohio.

2° CHEMINS DE FER DE LA VALLÉE DU MISSISSIPI.

Chemin de fer de Louisville-Nashville et South et North Alabama.

Ce chemin de fer, ouvert depuis le 1er novembre 1850 entre Louisville et Nashville, et construit comme la plupart des chemins de fer du Sud avec une seule voie de la largeur de 5 pieds (1m,525), est devenu, par suite des divers embranchements qu'il s'est annexés, ou dont l'exploitation est placée sous sa dépendance, aussi bien dans la direction du Sud, où il se prolonge jusqu'à Montgomery, capitale de l'Alabama, que dans celles du Sud-Est et du Sud-Ouest, où il atteint à Knoxville et à Memphis les deux limites Est et Ouest du Tennessee, le réseau principal de la rive gauche du Mississipi. Il s'étend sur les trois États de Kentucky, Tennessee et Alabama, qu'il relie à Louisville et à Knoxville avec les diverses lignes dirigées à travers les Alleghanies vers le littoral de l'Atlantique.

Le tronc principal, qui passe successivement de la vallée de l'Ohio dans celles des rivières Green, Barren et Cumberland, affluents de l'Ohio, puis dans les vallées du Duck River et du Tennessee, et enfin sur le versant du golfe du Mexique, où il atteint l'Alabama à Montgomery après avoir franchi, à l'altitude de 250 mètres, la ligne de faîte qui sépare ce versant de celui du bassin du Mississipi, ne présente pas de déclivités supérieures à 0m,013 (pl. III, fig. 3).

Sur l'embranchement de Clarksville-Memphis, on rencontre un pente de 0m,0198 sur 1 kilomètre de longueur, en descendant à Clarksville dans la vallée du Cumberland, puis de 0m,017, en remontant vers la ligne de faîte entre le Tennessee et le Mississipi, à l'altitude de 220 mètres, et des pentes de 0m,015 sur un court embranchement dirigé à l'est vers Richmond; sur celui de Knoxville, les pentes ne dépassent pas 0m,0125, au passage du faîte de 352 mètres de hauteur qui sépare les vallées du Tennessee et du Cumberland. Les courbes sur le tronc principal ont un rayon minimum de 291 mè-

tres; sur les embranchements, les plus courts rayons sont de 194 mètres.

Les terrassements sont assez considérables sur la ligne principale, à la traversée du faîte séparatif de l'Ohio et du Green River, où la profondeur des tranchées atteint, sur de faibles longueurs, de 15 mètres à 30 mètres. On compte aussi quelques remblais de 20 mètres à 36 mètres de hauteur, dont la longueur varie entre 120 mètres et 420 mètres.

Sur la même ligne, il existe 14 tunnels de 105 à 720 mètres de longueur : le plus long, le South Tunnel, se trouve à la descente vers la vallée du Cumberland, avant d'arriver à Nashville.

Les ponts et viaducs en bois et les ponts mixtes en bois et en fer, du système triangulaire, sont très nombreux. Il y a en tout :

501 ponts en bois d'une longueur totale de $14^k,16$;

20 ponts mixtes d'une longueur totale de $6^k,20$;

et 20 ponts en fer d'une longueur totale de $1^k,23$.

La dépense de construction, sur le tronc principal de Louisville à Nashville, n'a pas dépassé 77 000 francs par kilomètre.

L'exploitation sur cette même partie de la ligne n'emploie de machines de renfort que pour gravir la rampe de $0^m,013$ et de $8^k,3$ de longueur qui se trouve sur le versant de la vallée de l'Ohio, à 54 kilomètres de Louisville. Sur l'embranchement de Memphis, on gravit par le même moyen la rampe du *Tennessee ridge*, de $0^m,017$ d'inclinaison, en sortant de la vallée du Cumberland River; on s'en dispense pour la déclivité de $0^m,0198$ située sur le versant opposé, qui est plus courte et située dans un sens favorable aux plus lourds transports.

Le réseau de Louisville et Nashville, commencé par M. Albert Fink, dont le nom se rattache à un système très répandu de construction de ponts, et continué par M. F. de Funiak, s'étend aujourd'hui sur 1182 kilomètres; il est dans une position relativement prospère, quand on le compare aux autres lignes des États du Sud qui ne se sont pas relevées de la ruine causée par la guerre de sécession. Sa situation au milieu de riches cultures, les relations qu'il établit entre les États du Sud et de l'Ouest, et sa bonne administration, semblent devoir lui garantir l'accroissement de cette prospérité, retardé momentanément par la crise actuelle.

Chemin de fer du Cincinnati-Southern.

Le Cincinnati-Southern R.R., de Cincinnati à Chattanooga (Tennessee) a été entrepris tout récemment par la ville de Cincinnati, pour mettre cette ville en relation directe avec le riche bassin houiller du Cumberland. En même temps que Cincinnati, dont la population atteint aujourd'hui 275 000 âmes, est une ville manufacturière de premier ordre, Chattanooga, situé sur le Tennessee, au point où cette rivière se fraye une issue à travers les derniers rameaux de la chaîne des Alleghanies, au milieu d'une région où se trouvent en abondance la houille et le fer, est le siège d'une production métallurgique importante [1]. C'est en outre le point où convergent plusieurs lignes se prolongeant vers le golfe du Mexique et vers l'Atlantique, ce qui lui donne pour les communications avec les États du Sud une importance toute particulière. Cette ligne, qui est actuellement en voie d'achèvement, aura une longueur totale de 541^k; elle est construite comme la précédente, avec une seule voie de 5 pieds ($1^m,525$).

Le tracé, qui traverse sur toute leur largeur les États du Kentucky et du Tennessee, a présenté d'assez grandes difficultés, surtout à la traversée de la région montagneuse du Cumberland située sur la limite commune de ces deux États, où l'on rencontre une série de plateaux élevés, séparés par des vallées profondes à versants très escarpés.

Le profil en long de cette ligne est donné pl. II, fig. 8.

Les ingénieurs se sont imposé pour les rampes un maximum d'inclinaison de 0,011, et pour les courbes un minimum de rayon de 291 mètres.

La longueur totale des rampes de 0,011 n'excède pas 13 pour 100 du parcours total : les courbes de 291 mètres de rayon ne forment que 3 pour 100 du même parcours.

La plus grande partie des courbes ont des rayons supérieurs à 500 mètres.

La ligne comprend vingt-sept tunnels percés dans le calcaire, les grès carbonifères et les schistes, dont le plus long ne dépasse pas

1. C'est à Chattanooga qu'ont été installés les premiers fours du système Banks pour le puddlage mécanique.

760 mètres, et dont la longueur totale est de 7k,760. Les ponts en bois et en métal occupent une longueur totale de 9607 mètres, savoir :

Ponts en métal..........	3493	mètres.
Viaducs en métal.	4740	—
Ponts en bois....................	327	—
Viaducs en bois..........	1047	—

Il y a en outre vingt-quatre ponts par dessus la voie, tous construits en bois.

On estime que cette ligne, construite pour une voie, reviendra à 161 000 francs par kilomètre, non compris le matériel roulant. Le chiffre élevé de cette dépense s'explique : 1° par l'importance des ouvrages d'art, parmi lesquels se trouvent deux grands ponts, l'un sur l'Ohio [1], de 735 mètres de longueur avec des portées atteignant 158 mètres, l'autre sur le Tennessee, de 549 mètres de long, et deux viaducs sur le Kentucky et le Cumberland River, l'un de 80 mètres, l'autre de 47 mètres de hauteur [2]; 2° par les travaux de terrassement considérables qu'on a dû y exécuter dans des terrains très résistants.

Ce chemin de fer se rapproche d'ailleurs plus par sa construction, des chemins de fer européens, que les chemins de fer ordinairement construits en Amérique. Sa grande importance a déterminé les ingénieurs à introduire immédiatement dans son tracé, au prix de grands sacrifices, des améliorations qui n'ont été réalisées sur beaucoup d'autres lignes plus anciennes, qu'après que le trafic s'y est développé et que la concurrence a fait rechercher les moyens de rendre l'exploitation plus économique.

La direction des travaux de la ligne du Cincinnati-Southern a été successivement confiée à M. Lowett et à M. G. Bouscaren.

3° CHEMINS DE FER TRAVERSANT LES MONTAGNES ROCHEUSES.

Chemins de fer de l'Union et du Central Pacific.

La direction générale du chemin du Pacifique a été arrêtée au milieu même de la guerre de sécession, après des études entreprises

1. Les dessins de ce pont sont donnés planche IX.
2. Les planches XIX, XX et XXI donnent les dessins du viaduc sur le Kentucky River.

sur une grande échelle par ordre du Congrès, qui avaient conduit à proposer dix tracés. Sous l'impression des événements, le choix du Congrès se porta sur celui de ces tracés qui était le plus avantageux aux États du Nord; un acte du Congrès du 1er juillet 1862 fixa le point de départ de la nouvelle ligne à Omaha sur le Missouri, qu'un pont jeté sur ce fleuve devait bientôt réunir à Council-Bluffs. Commencée en 1865, et mesurant, d'Omaha à Sacramento, une longueur de 2856 kilomètres, cette ligne a été achevée en quatre ans et ouverte le 10 mai 1869, sept ans avant l'expiration du délai qui avait été fixé pour son exécution par l'acte de concession. La longueur de son parcours, la rapidité avec laquelle elle a été exécutée dans des contrées stériles, n'offrant aucune ressource, soit pour la construction de la voie, soit pour le logement et la nourriture des ouvriers, et exposées aux incursions des Indiens, en franchissant plusieurs chaînes de montagnes à des hauteurs qui n'avaient jamais encore été atteintes, donnent à la ligne du Pacifique un intérêt tout particulier, et en font l'œuvre la plus hardie dont l'histoire des chemins de fer fasse mention.

Dans l'acte de concession qui partageait la ligne du Pacifique en deux sections à exécuter, l'une à partir d'Omaha par la Compagnie de l'Union Pacific, l'autre à partir de Sacramento, par celle du Central Pacific, le Congrès s'est contenté tout d'abord de stipuler que les deux Compagnies suivraient la route « *la plus directe, la plus centrale et la plus praticable* ». Plus tard, lorsque les travaux étant déjà très avancés, on a dû se préoccuper du raccordement des deux sections, le Gouvernement fédéral est intervenu pour fixer le point de raccordement à Ogden, au nord du Lac Salé, et pour arrêter définitivement le tracé aux abords de cette localité, afin de permettre à celle des Compagnies, qui aurait terminé la première la section qui lui était dévolue, de continuer à marcher à la rencontre de l'autre.

Quant aux conditions techniques d'exécution imposées à ces deux lignes, le Congrès ne les a pas définies autrement qu'en spécifiant qu'elles seraient construites comme des chemins de fer de première classe, et en indiquant, ainsi que nous avons déjà eu occasion de le rappeler, comme type à suivre, le chemin de fer de Baltimore et Ohio, notamment pour le maximum des pentes et le minimum des rayons des courbes.

Considérée dans son ensemble, la ligne du Pacifique s'écarte peu du 41e parallèle, sauf sur les 500 derniers kilomètres vers Sacra-

mento, où sa direction s'incline vers le sud-ouest pour atteindre cette ville un peu au-dessous du 39e parallèle.

Sur son parcours elle franchit deux grandes chaînes de montagnes, celles des Montagnes Rocheuses et de la Sierra Nevada, et dans l'intervalle compris entre ces deux chaînes principales, deux chaînes secondaires, celles des montagnes de Wasatch et de Humboldt, qui partagent le plateau compris entre les chaînes extrêmes en trois bassins intermédiaires, dont l'un, celui du Green River, affluent du Rio Colorado, verse ses eaux à l'Océan Pacifique dans le golfe de Californie, et les deux autres, ceux du Lac Salé et de la rivière de Humboldt, sont des bassins intérieurs sans communication avec la mer.

Ogden et Kelton aux altitudes respectives de 1332 et 1288 mètres, dans le bassin du Lac Salé, et White-Plains à l'altitude de 1188 mètres, près du lac de Humboldt, marquent les points les plus bas de la ligne sur le plateau central, tandis que les points les plus élevés atteignent les altitudes de 2514 mètres sur les Montagnes Rocheuses, 2300 sur les Monts Wasatch et 2140 sur la Sierra Nevada.

Nous allons maintenant entrer dans quelques détails sur le tracé et l'exécution des deux sections, dont le profil longitudinal est donné pl. III, fig. 4 (trait plein).

Section de l'Union Pacific, d'Omaha à Ogden (1660 kilomètres). — D'Omaha au pied des Montagnes Rocheuses, la prairie s'élevant par une pente presque insensible, le tracé qui suit généralement le cours de la rivière Platte, n'offre que des déclivités extrêmement faibles. En sortant d'Omaha seulement, une rampe d'une déclivité de 0m,012, réduite ultérieurement à 0m,006, sert à franchir une butte séparant le Missouri de la rivière Platte. C'est seulement à la station de Cheyenne, à 830 kilomètres d'Omaha et à l'altitude de [illegible] mètres, que commencent les fortes rampes pour gravir un contrefort des Montagnes Rocheuses, celui des Blackhills, qui est franchi à l'altitude de 2514 mètres, à la station de Sherman. On aurait pu s'élever moins haut en contournant soit au sud, soit au nord, ce contrefort; mais le détour eût été très considérable, et l'on eût trouvé un accès beaucoup moins facile sur le plateau.

Les déclivités de part et d'autre de ce premier faîte ne dépassent pas [illegible] d'un côté et 0m,017 de l'autre. On a pu également se contenter de cette dernière inclinaison pour remonter ensuite de la partie supérieure du bassin de la Platte, que l'on rencontre de

l'autre côté des Blackhills, jusqu'au faîte de Creston situé à l'altitude de 2144 mètres sur la ligne de partage des eaux des deux Océans.

La descente dans la vallée stérile du Green River en suivant la gorge de Bittercreek, et l'ascension sur l'autre rive de cette rivière vers la station d'Aspen, qui marque le faîte des montagnes de Wasatch, n'ont pas rencontré plus de difficultés que le tracé de la portion de ligne précédemment décrite, jusqu'à une faible distance d'Aspen, où commencent de profondes tranchées, à la suite desquelles la ligne s'engage dans une série de défilés (Écho et Weber Cañons) dont le tracé épouse les sinuosités en descendant vers le bassin du Lac Salé.

Entre Aspen et la station de Piedmont qui la précède immédiatement, le tracé a cela de remarquable que pour adoucir la rampe, qui ne dépasse pas $0^{m},011$ et qui est en moyenne de $0^{m},010$ sur 23 kilomètres, on a allongé le parcours de moitié en se développant le long des contreforts. La fig. 5, pl. III, empruntée au manuel des ingénieurs des chemins de fer de G. Vose, donne une idée de cette partie du tracé, qui n'a été définitivement arrêtée qu'après de longues études sur le terrain.

D'Aspen à Ogden, où la pente ne dépasse pas non plus la déclivité moyenne de $0^{m},01$, on rencontre quatre souterrains, et en divers points l'espace nécessaire pour la voie a dû être pris sur le lit même du torrent qu'elle cotoie. La vallée s'élargit ensuite un peu avant d'arriver à Ogden, d'où part l'embranchement conduisant à Salt Lake City, capitale de l'État d'Utah, et où finit la section de l'Union Pacific.

Sur les 1660 kilomètres qui séparent Ogden d'Omaha, il y en a 862, c'est-à-dire plus de la moitié sur lesquels il n'a pas été exécuté de déblais de roc, et où la voie, le plus souvent posée à la surface du sol, n'a presque pas exigé de terrassements; sur le surplus du parcours, les terrassements sont encore notablement moindres que sur toutes les lignes traversant les Alleghanies.

Quant aux ouvrages d'art, ils comprennent :

242 aqueducs en bois ou pierre ;

4 souterrains ;

1 pont en fer et 7 ponts en bois et fer, d'une portée de 30 à 45 mètres,

et 694 ponts ou viaducs en bois formant une longueur totale de

plus de 13 kilomètres, dont on comptait lors de l'ouverture de la ligne, que la plus grande partie serait remplacée par des remblais, au fur et à mesure que les produits de l'exploitation le permettraient, et qu'on serait mieux renseigné sur le débouché à donner aux ouvrages d'art. Le plus grand de ces ouvrages, le viaduc de Dale Creek, de 600 mètres de longueur, construit primitivement en bois, a été récemment reconstruit en fer (1876) [1].

Section du Central Pacific, d'Ogden à Sacramento (1196 kilomètres). La construction de cette section a présenté beaucoup plus de difficultés. D'Ogden aux montagnes de Humboldt, sur 375 kilomètres, le tracé n'a rencontré d'autre obstacle qu'un promontoire élevé de 200 mètres environ au-dessus du niveau du Lac Salé, dont il contourne la rive septentrionale. C'est aux abords de ce promontoire que s'est faite, le 10 mai 1869, la soudure des deux sections, à 1745 kilomètres d'Omaha et 1335 kilomètres de San-Francisco. La voie rencontre ensuite une succession de pentes et de contre-pentes, et finit par s'élever, par une rampe dont l'inclinaison ne dépasse pas $0^{m},015$, en traversant un véritable désert, jusqu'à la station de Pequop, qui marque le 4e faîte en venant d'Omaha, à 1886 mètres de hauteur, et elle redescend ensuite dans la vallée de la rivière Humboldt avec des pentes variant de $0^{m},004$ à $0^{m},010$.

Après avoir remonté, d'abord cette rivière, qui finit par se perdre dans les sables, puis son affluent, la rivière de Truckee, sur une longueur totale de 651 kilomètres, depuis la station de Humboldt Wells jusqu'à celle de Truckee, située à 24 kilomètres à l'est de la crête de la Sierra Nevada, le tracé s'élève, par une série de zigzags, sur le bord des précipices qui dessinent le bassin du Donner Lake, avec des rampes dont l'inclinaison varie de $0^{m},012$ à $0^{m},020$, et des courbes dont le rayon descend jusqu'à 165 mètres, et il gravit ainsi sur une longueur de 21 kilomètres, une hauteur de 300 mètres. Cette partie de la ligne, entre la station de Truckee et celle de Summit, située sur la crête de la Sierra Nevada, à l'altitude de 2140 mètres, ne compte pas moins de sept souterrains percés dans le granite et intercalés entre de profondes tranchées couvertes par des toitures, qui les abritent contre la neige. Le plus long de ces souterrains a 506 mètres de longueur.

1. La planche XVIII (figures 14 à 19), donne les profils en long et en travers de cet ouvrage.

La descente sur le versant du Pacifique, qui se fait avec des pentes variant de $0^m,015$ à $0^m,022$, n'est pas moins accidentée; les courbes ne font que se succéder en sens contraires, et les abris contre la neige, interrompus seulement par des souterrains ou des ponts couverts, jetés sur les ravins, continuent à recouvrir la voie, formant ainsi, depuis la gorge de Cold Stream Cañon située sur le versant est, jusqu'au delà de la station d'Emigrant Gap, sur le versant ouest, une galerie couverte presque continue comprenant toutes les stations intermédiaires. Ces abris ne cessent qu'à l'altitude de 1590 mètres, tandis que, sur l'Union Pacific, ils ne commencent qu'à la station de Cheyenne, à plus de 1800 mètres au-dessus du niveau de la mer.

A partir de la station de Blue Cañon, située à 46 kilomètres de Summit, on ne rencontre plus ni souterrains ni abris contre la neige, et la voie, en suivant la crête des contreforts sinueux que projette la Sierra, descend vers la vallée de l'American River, affluent du Sacramento. A la station de Rocklin, où finit le service des machines de renfort, on est descendu depuis le sommet de 2063 mètres, sur un parcours de 132 kilomètres, ce qui équivaut à une pente moyenne de $0^m,015$ sur toute cette longueur.

La voie ferrée atteint ensuite, par la vallée du Sacramento, la ville de ce nom, d'où elle se dirige vers San-Francisco en traversant une dernière chaîne de collines (*Coast range*), dont elle franchit le faîte à l'altitude de 225 mètres, pour redescendre par deux embranchements dirigés, l'un, vers Oakland, en face de San-Francisco, l'autre, vers San-José, relié directement avec cette dernière ville par un embranchement contournant la partie méridionale de la baie de San-Francisco.

En définitive, sur les 1196 kilomètres compris entre Ogden et Sacramento, on peut compter une longueur de plus de 700 kilomètres, située dans les vallées de l'Humboldt River, de l'American River, et du Sacramento, où le tracé, sauf en quelques points exceptionnels, n'a guère présenté plus de difficultés que celui de la portion de l'Union Pacific occupant le versant du Mississipi; par contre, environ 500 autres kilomètres ont, surtout à la traversée de la Sierra Nevada, exigé des travaux considérables.

On compte sur le Central Pacific :

25 ponts en bois, dont plusieurs couverts sur les rivières de Humboldt et de Truckee.

239 aqueducs ;

15 souterrains, et 2840 mètres courants de viaducs en bois (*trestles*), situés pour la plupart dans la vallée de l'American River, et destinés, comme ceux de l'Union Pacific, à être remplacés partiellement par des remblais.

Les abris contre la neige, dont on a reproduit sur la planche XXVI les principales dispositions, occupaient à la fin de l'année 1874, sur le Central Pacific, une longueur totale de 51 kilomètres et demi, répartis sur un parcours de 64^k,5 et ayant coûté 8 650 000 fr., d'après les comptes fournis par la Compagnie au Gouvernement Fédéral, soit 168 francs par mètre courant.

Sur l'Union Pacific, tous les viaducs en bois qui n'ont pas été reconstruits en fer ont été déjà remblayés, et les chevalets en bois qui formaient les culées et les piles d'un grand nombre de ponts ont été remplacés par de la maçonnerie.

Sur le Central Pacific, les remblais et les reconstructions sont moins avancés ; la bonne qualité du bois employé pour les ouvrages en charpente, qui consiste surtout en *redwood* (Sequoia semper virens) rend la suppression des *trestles* moins urgente, et l'on a constaté d'ailleurs, sur divers points où l'on se proposait de les faire disparaître, que leur remplacement par des remblais n'était pas sans inconvénient, des crues torrentielles ayant à plusieurs reprises emporté des remblais commencés, en interrompant la circulation des trains. Néanmoins les incendies auxquels sont sujets les ponts en bois, dont un des plus importants, celui de l'American River, a été récemment brûlé, rendent de plus en plus nécessaire leur suppression, à mesure que le développement du trafic aggrave pour l'exploitation de la ligne les conséquences d'une interruption.

Nous avons déjà dit que les travaux avaient été exécutés en quatre ans. L'avancement des travaux a été généralement beaucoup plus rapide sur la ligne de l'Union Pacific que sur le Central Pacific, en raison des terrains moins accidentés et plus faciles d'extraction que l'on avait à traverser. Une fois le sol dressé, la pose de la voie s'est effectuée avec une rapidité croissante à mesure que les deux lignes se rapprochaient l'une de l'autre ; on a fini par poser par jour jusqu'à 16 kilomètres de voie.

Le tableau suivant, emprunté à M. Malézieux, donne l'avancement annuel des travaux pour les deux Compagnies.

ANNÉES.	CENTRAL PACIFIC.	UNION PACIFIC.
Antérieurement à 1866	97 kilom.	64 kilom.
1866........................	48 —	426 —
1867................	74 —	459 —
1868-1869 (16 mois)...........	893 —	795 —
	1112 kilom.	1744 kilom.

Le Congrès avait admis, pour le montant de la subvention sous forme de prêt à accorder aux Compagnies, indépendamment des concessions de terres le long de la voie, trois tarifs kilométriques différents, eu égard aux difficultés de l'exécution :

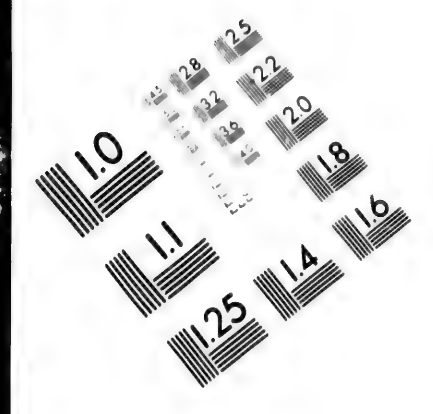
47 000 francs, entre Omaha et les Montagnes Rocheuses ;

94 000 francs, entre les deux chaînes de montagnes ;

141 000 francs, pour le passage des deux chaînes.

Il n'est pas sans intérêt de comparer la ligne du Pacifique aux lignes traversant les grandes chaînes de montagnes de l'Europe. Le tableau suivant fournit à cet effet les principaux éléments des tracés pour les lignes du Central et de l'Union Pacific et pour quatre grandes lignes européennes :

INDICATION des LIGNES.	ALTITUDE des FAÎTES.	RAMPES MAXIMA aux ABORDS DES FAÎTES.	RAYONS minima des courbes.	OBSERVATIONS.
Union Pacific..	2514^{m}	$0^{m},017$	291^{m}	Pas de souterrain aux abords du faîte.
Central Pacific.	2140	$0^{m},022$	165	Plusieurs souterrains d'une longueur maxima de 500 mètres.
Semmering....	883	$0^{m},025$	180	Souterrain de 1430 mètres.
Brenner..	1367	$0^{m},025$ sur le versant Nord. $0^{m},0227$ sur l'autre.	285	Souterrain de 600 mètres.
Mont-Cenis....	1295	$0^{m},03$ et $0^{m},025$	345	Souterrain de 12 849 mètres.
Saint-Gothard.	1152	$0^{m},0265$ et $0^{m},025$	345	Souterrain de 14 900 mètres.



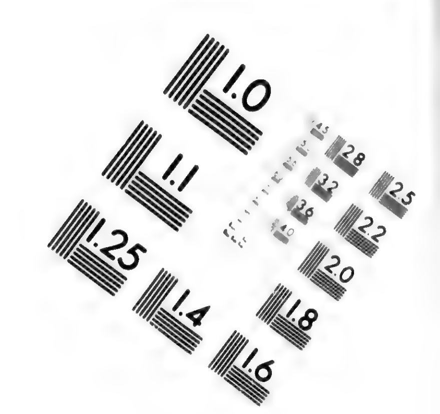
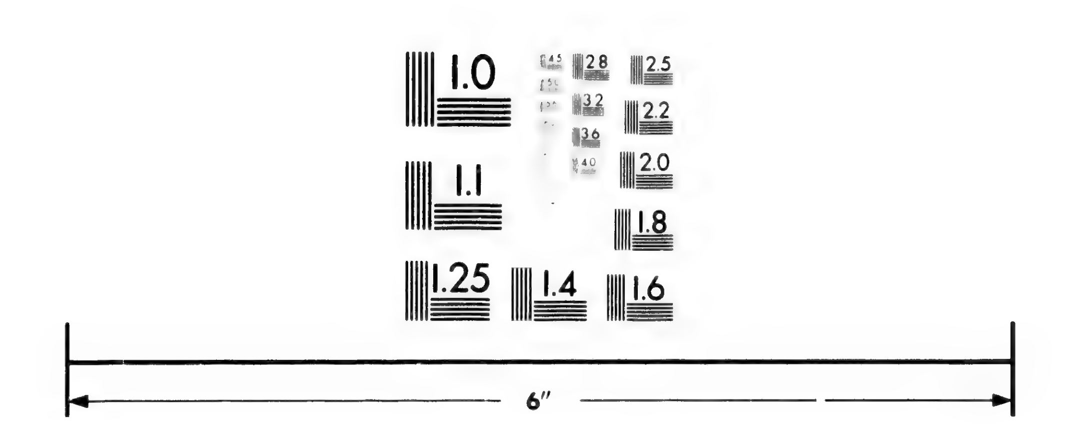
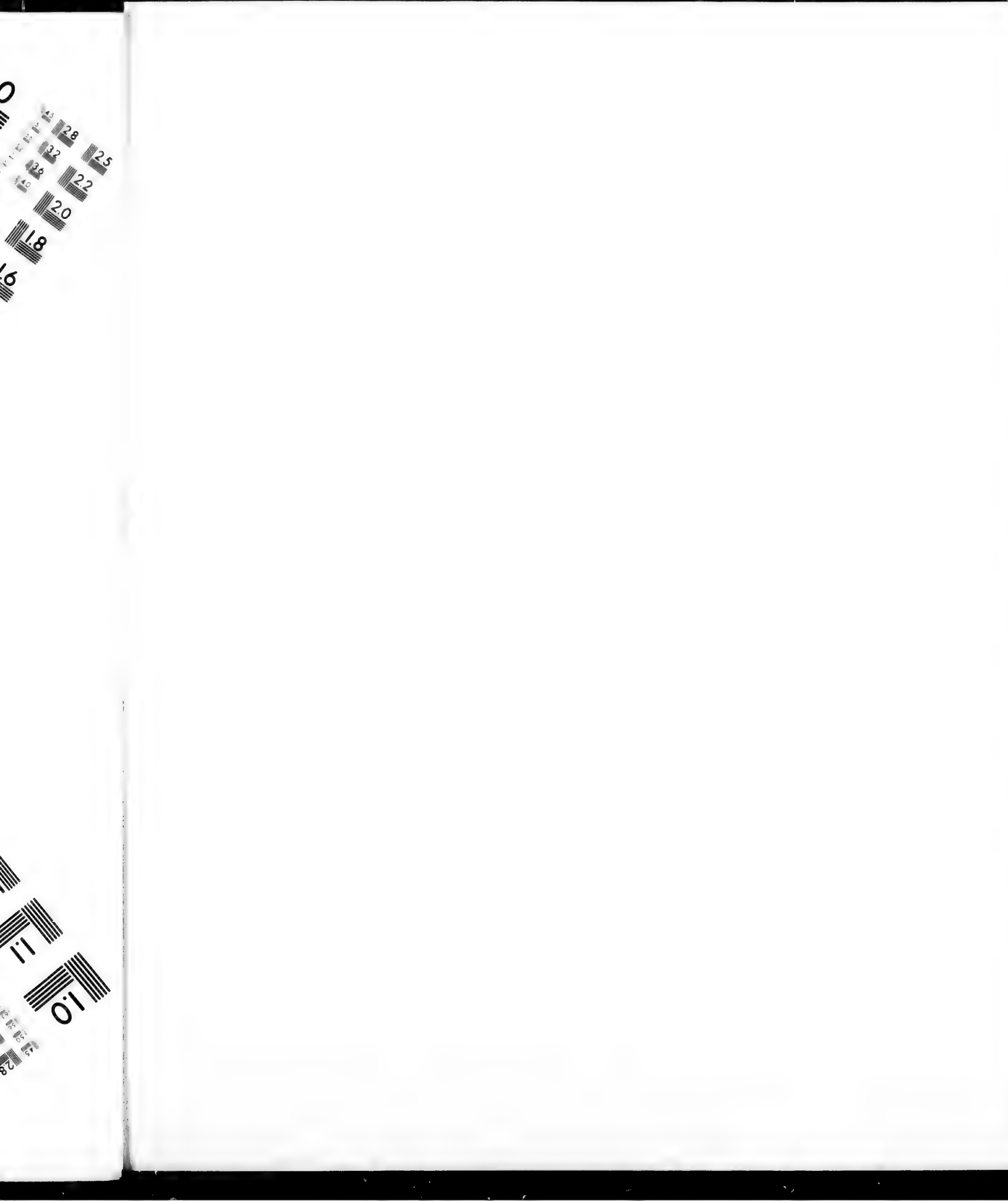


**IMAGE EVALUATION
TEST TARGET (MT-3)**





On voit que, tandis que les déclivités admises sur les deux lignes américaines sont moindres que sur les lignes européennes, les altitudes atteintes sur les premières sont notablement plus grandes que sur les secondes, dont les points les plus élevés ne dépassent guère la hauteur des points les plus bas du plateau que traverse la ligne du Pacifique, entre les Montagnes Rocheuses et la Sierra Nevada.

Les ingénieurs américains, en garantissant, au moyen d'abris contre la neige, l'exploitation contre les dangers d'interruption résultant des plus grandes hauteurs franchies, sont ainsi parvenus à maintenir le tracé dans des conditions relativement favorables de pentes, sans se jeter dans les dépenses considérables occasionnées par la construction des grands souterrains auxquels on a le plus souvent recours en Europe pour éviter ces interruptions. Le procédé général employé en Amérique pour s'affranchir des terrassements longs et coûteux, consistant à relever le niveau de la voie, sauf à recourir à des constructions en bois pour pouvoir l'établir, a reçu sur une grande échelle une nouvelle application, dont l'effet a été de rendre rapidement exécutable et immédiatement exploitable une ligne qui ne l'eût point été autrement.

L'activité extraordinaire imprimée aux travaux a d'ailleurs été puissamment aidée, il faut le reconnaître, par la configuration des terrains traversés, qui, sur près des deux tiers du parcours total, a permis de poser la voie sans presque aucun travail préparatoire, et bien que le tracé dans son ensemble ne paraisse pas susceptible d'être utilement modifié, la précipitation avec laquelle les travaux ont été exécutés a laissé des traces dans certaines imperfections de tracé et de construction [1].

La ligne du Pacifique, dans l'état où elle a été livrée à l'exploitation, doit être considérée moins comme un chemin de fer terminé que comme une première ébauche de ce qu'elle est destinée à devenir, pour être amenée à l'état d'une ligne de premier ordre, suivant le vœu exprimé par le Congrès, quand elle aura reçu tous les perfectionnements en rapport avec son importance, qui ne peuvent

1. C'est principalement dans la vallée de Humboldt qu'ont été relevées par les commissaires du Gouvernement fédéral les défectuosités de tracé consistant surtout en courbes et en pentes et contrepentes faciles à éviter, en partie déjà corrigées aujourd'hui.

être introduits d'une manière à la fois économique et profitable qu'en cours d'exploitation. Si la règle habituellement suivie en Amérique, de se borner tout d'abord aux travaux indispensables pour l'établissement de la voie, et d'attendre qu'on puisse se servir de celle-ci pour l'exécution des travaux complémentaires, devait prévaloir, c'est assurément dans un cas comme celui du chemin de fer du Pacifique, où il n'existait à portée de la ligne sur de très longs parcours, ni bons matériaux de construction, ni voies de communication, ni centres de population quelconques.

Il y a lieu de remarquer que, malgré cette ouverture hâtive, les accidents sur la ligne ont été jusqu'à présent peu nombreux, grâce à la faible vitesse des trains, qui ne dépasse pas ordinairement 25 kilomètres à l'heure. Les dépenses, faites depuis l'ouverture de la ligne pour son achèvement et qui s'élèvent à plus de 35 millions pour les cinq premières années, montrent d'ailleurs que les deux Compagnies se préoccupent sérieusement de satisfaire à leurs engagements à l'égard du Gouvernement Fédéral, en ce qui concerne cet achèvement auquel elles sont les premières intéressées pour pouvoir développer leur trafic, et se mettre en outre en mesure de soutenir la concurrence qui menace de leur être bientôt faite par d'autres lignes.

La ligne ouverte entre Omaha et San-Francisco n'est pas la seule, en effet, qui ait été projetée pour relier la côte de l'Atlantique à celle de l'Océan Pacifique ; il en a été étudié deux autres au nord, deux au midi. Les deux premières ont cela de remarquable qu'elles évitent en grande partie les difficultés rencontrées par la ligne actuelle : elles ont toutes d'ailleurs, bien qu'aboutissant à de bons ports, par cela même qu'elles n'accèdent pas directement à San-Francisco, des directions moins favorables au trafic, au moins, quant à présent.

LIGNES PROJETÉES OU COMMENCÉES POUR RELIER LA CÔTE DE L'ATLANTIQUE A CELLE DU PACIFIQUE.

Ligne américaine du Northern-Pacific.

La première de ces lignes est tracée entre le 46e et le 48e parallèle : elle part de Duluth (Minnesota) à l'extrémité ouest du Lac Supé-

rieur, pour aboutir dans la baie de Puget (territoire de Washington). Après avoir traversé le Mississipi près de sa source, puis le Missouri à Bismarck, elle emprunte la vallée de son principal affluent, le Yellowstone River, jusqu'au pied des Montagnes Rocheuses, repasse ensuite près de Fort Ellis, dans la vallée du Missouri, et atteint par cette vallée, le col de Deer Lodge situé à l'altitude de 1770 mètres, où une distance extrêmement faible sépare les sources du Divide Creek, qui verse ses eaux au Missouri, de celles du Deer Lodge Creek, tributaire de la rivière de Colombie.

Elle se dirige ensuite vers le nord-ouest en suivant, sur le versant du Pacifique, parallèlement à la crête du massif principal des Montagnes Rocheuses, une série de vallées étroites débouchant finalement avec la rivière de Clark, dans la grande plaine où coule la rivière de Colombie, dont, après une dernière inflexion vers le sud-ouest, elle suit le cours jusqu'à Fort Vancouver en traversant la chaine du Cascade Range, prolongement de celle de la Sierra Nevada. A Portland, elle doit se relier à une autre ligne parallèle au littoral, allant de San-Francisco à la pointe de la baie de Puget.

Ce chemin de fer, qui traverse le Minnesota, le Dakota, la région aurifère du Montana, l'Idaho et le territoire de Washington, aura, du fond du Lac Supérieur à Fort Vancouver, un parcours d'environ 3100 kilomètres. Passant directement du versant du Mississipi à celui du Pacifique, sans avoir à franchir d'autres montagnes que la chaine principale des Montagnes Rocheuses, et traversant partout des régions bien arrosées et propres à la culture, cette ligne, qui se prêterait à des rampes plus douces, et qui serait, malgré sa latitude plus élevée, peu exposée, par suite des moindres hauteurs atteintes, aux obstructions par les neiges, promet d'être d'une exploitation beaucoup plus facile que la ligne actuelle du Pacific.

Comme elle suit sur une partie de sa longueur (1250 kilomètres) des voies navigables, les communications par cette voie peuvent d'abord être établies avec une longueur relativement faible de voies ferrées, en attendant l'achèvement complet de celles-ci.

Le chemin de fer du Nord Pacifique a reçu du Gouvernement des États-Unis une subvention, mais en terres seulement. A la fin de l'année 1876, cette ligne s'étendait jusqu'à la station de Bismarck (Dakota) à 710 kilomètres de son origine est.

Ligne Canadienne du 49e parallèle.

Le Gouvernement Canadien a pris l'engagemement, quand la Colombie Britannique a été réunie aux autres possessions britanniques pour former avec elles une Confédération, de construire dans l'espace de dix ans un chemin de fer reliant toutes ces possessions d'un Océan à l'autre. Le tracé de ce chemin de fer, qui doit rester compris entre le 50e et le 55e parallèle, est aujourd'hui à peu près arrêté partout. Il doit partir d'Ottawa, capitale de la Confédération, se diriger de là presque en ligne droite vers la pointe nord du Lac Supérieur, puis vers la pointe sud du Lac Winnipeg, en traversant la colonie nouvelle du Manitoba, et gagner à partir de là, par la vallée du Saskatchewan, généralement fertile et propre à la culture, le col de la Tête Jaune, situé à l'altitude de 1112 mètres dans les Montagnes Rocheuses. Le chemin de fer doit redescendre ensuite sur le versant du Pacifique par la vallée du Thompson River, affluent du Fraser, puis par celle du Fraser lui-même, jusqu'à Port Moody dans la baie de Burrard, où se trouve également New-Westminster, capitale de la Colombie britannique.

Cette ligne, ainsi que le montrent les profils en long réunis sur la planche III, fig. 4, se présenterait dans des conditions encore plus favorables, au point de vue des pentes et des hauteurs franchies, que les deux précédentes. Comme sur les autres grandes lignes ouvertes sur le territoire du Canada, les déclivités n'y dépasseraient pas $0^{m},013$, et le climat étant moins rude jusqu'à une certaine distance du Pacifique que sur le littoral de l'Atlantique, l'exploitation en serait relativement facile. Une partie de ce chemin de fer est actuellement en cours d'exécution entre Fort William, au nord du Lac Supérieur et Selkirk, dans le Manitoba, sur la rivière Rouge, en même temps qu'un embranchement conduisant de cette dernière station, le long de la même rivière, jusqu'à la frontière des États-Unis.

Au-delà du Manitoba, on ne compte la prolonger qu'au fur et à mesure de la colonisation des territoires de l'Ouest. Lorsqu'elle sera achevée du Pacifique à Montréal, elle aura une longueur totale de 4330 kilomètres se décomposant ainsi qu'il suit :

De la baie de Howe (embouchure du Fraser) au fort Edmonton, pied du versant est des Montagnes Rocheuses	1205	kilomètres.
Du fort Edmonton au fort Garry (Manitoba)	1248	—
Du fort Garry à Montréal	1877	—
	4330	kilomètres.

La construction de la ligne entre le fort Garry et Montréal raccourcira le trajet qui se fait actuellement par Chicago et le sud des grands Lacs de 650 kilomètres.

Atlantic Pacific R.R. (Route du 35e parallèle).

L'Atlantic Pacific R.R. (pl. III. fig. 4.) part de Saint-Louis, sur le Mississipi, pour se diriger vers le Pacifique, en traversant la Réserv indienne, le New-Mexico, l'Arizona et la partie méridionale de la Californie, où elle doit se rattacher au chemin de fer du Southern Pacific, récemment ouvert jusqu'à la frontière sud de la Californie.

Cette ligne passe d'abord assez facilement du bassin de l'Arkansas, dont elle remonte jusqu'à sa source un affluent, le Canadian River, dans le bassin du Rio Grande, qui se jette dans le Golfe du Mexique. Après avoir traversé ce fleuve à Albuquerque (New-Mexico), elle franchit, en traversant le massif de la Sierra Madre, le faîte séparatif des bassins de l'Atlantique et du Pacifique, se maintient ensuite sur un plateau très élevé qui forme le prolongement de ce massif et qui finit par s'abaisser pour livrer passage au Rio Colorado, et atteint ce fleuve près du Fort Moyave.

Le tracé remonte enfin, après avoir traversé le bassin, sans écoulement vers la mer, de la rivière Moyave, sur un autre plateau, qui le conduit jusqu'à la Sierra Nevada au-delà de laquelle il se soude à la ligne du Southern Pacific.

Il y aura par cette ligne entre Saint-Louis et San-Francisco, une distance de 3630 kilomètres, sur lesquels sont déjà construits, de San-Francisco à la soudure avec le Southern Pacific, 539 kilomètres, de Saint-Louis à Vinita (territoire indien), 585 kilomètres; reste à construire 2506 kilomètres.

Entre l'Atlantic Pacific et l'Union Pacific viennent se placer :

1° le Kansas Pacific, partant de Leavenworth, sur le Missouri, et se dirigeant par la vallée du Kansas, affluent du Missouri, vers Denver, au centre de l'État du Colorado, et se reliant au nord et au

sud de cette ville, d'une part à l'Union Pacific, à Cheyenne, de l'autre, à l'Atlantic Pacific par le chemin de fer à voie étroite de Denver et Rio Grande, presque entièrement achevé aujourd'hui jusqu'à Albuquerque, qui doit se prolonger plus tard vers le Mexique.

2° l'Atchison, Topeka et Santa-Fé R.R., partant d'Atchison sur le Missouri, qui, après avoir traversé le précédent à Topeka, suit la vallée de l'Arkansas jusqu'à Pueblo, situé au sud de Denver, sur le Denver et Rio Grande R.R., son extrémité actuelle.

Les trois lignes, de l'Atlantic Pacific du Kansas Pacific et d'Atchison, Topeka et Santa-Fé, ne doivent avoir à partir de leur jonction avec le Denver et Rio Grande R.R., qu'un seul prolongement vers le Pacifique. La distance actuelle de Saint-Louis à San-Francisco par la portion déjà exécutée du Kansas Pacific, puis par Denver, Cheyenne et par l'Union et le Central Pacific, étant de 3896 kilomètres, l'exécution de ce prolongement, qui réduirait la distance entre les points extrêmes à 3630 kilomètres, procurerait un raccourcissement de 266 kilomètres.

Ce raccourcissement a du reste beaucoup moins d'importance, pour l'avenir de la ligne, que le nouveau champ qu'elle peut ouvrir à la colonisation dans des régions riches et fertiles.

Texas Pacific R.R. (Route du 32e parallèle).

Le chemin de fer du Texas Pacific doit avoir pour point de départ Vicksburg sur le Mississipi (pl. III, fig. 4), et en traversant les mêmes Etats que l'Atlantic Pacific, et, en plus, le Texas et la Louisiane, se terminer en Californie au port de San-Diégo, le meilleur de la côte californienne après celui de San-Francisco.

Ce chemin de fer, qui doit présenter, de San-Diégo à Vicksburg, une longueur de 2920 kilomètres environ, est seulement exécuté jusqu'à présent depuis Shreveport (Louisiane) jusqu'à Eagle Ford (Texas) sur 309 kilomètres. Le tracé étudié le plus récemment, le fait remonter par la vallée de Brazos River, jusqu'au bord méridional du vaste plateau aride connu sous le nom de *Llano estacado* qui sépare le Texas du Nouveau-Mexique, d'où il se dirige par le col de Guadalupe vers la vallée du Rio Grande qu'il traverse à El-Paso sur la frontière même du Nouveau-Mexique. Le tracé passe ensuite, en franchissant le faîte de la Sierra Madre, du bassin du

Rio Grande dans celui de la rivière de Gila qu'il suit jusqu'à son embouchure dans le Rio Colorado au Fort Yuma sur la frontière de Californie ; puis il arrive en traversant les dernières ramifications de la Sierra Nevada au port de San-Diégo. Cette ligne qui n'a à franchir qu'une hauteur maxima de 1743 mètres au Col de Guadalupe, les autres faîtes au passage de la Sierra Madre et de la Sierra Nevada ne dépassant pas les altitudes de 1570 et 1470 mètres, se présente dans des conditions encore plus favorables au point de vue des pentes et du climat que le tracé de l'Atlantic Pacific.

Le voisinage des provinces mexicaines de Sonora et de Chihuaha, riches en métaux précieux ainsi qu'en productions de la zône tropicale, et contenant déjà certains éléments de colonisation, et la situation très prospère de cette colonisation dans le Sud de la Californie, ouvrent au Texas Pacific R.R. une certaine perspective de trafic. Toutefois les deux lignes du 35e et du 32e parallèles, auxquelles on peut rattacher la ligne, tristement célèbre dans le monde financier, de Memphis, El Paso et Pacific R.R., traversant des contrées encore désertes, en partie impropres à la culture et exposées aux incursions des Indiens, ne seront susceptibles d'être utilement construites que lorsque le mouvement de la colonisation dans cette direction se sera accentué davantage. La ligne déjà ouverte entre Omaha et San-Francisco paraît du reste devoir longtemps suffire aux relations entre la partie inférieure de la vallée du Mississipi et le littoral du Pacifique[1].

Ligne du Southern Pacific.

Sur ce dernier littoral, nous devons signaler en terminant, comme devant se raccorder avec le Texas Pacific, à Fort Yuma, sur le Rio Colorado, un embranchement de la ligne du Southern Pacific, qui, en descendant dans la vallée du San-Joaquin, va rejoindre à la station de Goshen une branche du Central Pacific desservant cette vallée. Cet embranchement tout récemment terminé traverse deux fois la Sierra Nevada vers sa jonction avec la chaîne du Coast Range, une première fois à l'altitude de 860 mètres, entre les stations de Mojave et Alpine, avant d'arriver à Los Angeles, une se-

1. On a réuni fig. 4, pl. III, tous les profils des lignes commencées entre les deux Océans : les origines de ces lignes sont placées à l'Est eu égard à leurs longitudes. San-

conde fois à l'altitude de 780 mètres au col de San-Gorgonio, en quittant Los Angeles pour se prolonger vers le sud. Le Southern Pacific R.R. descend ensuite dans le bassin d'un lac desséché où il offre cette particularité curieuse, entre les stations d'Indian Wells et Flowing Wells, qu'il se trouve au-dessous du niveau de la mer. Son point le plus bas est à 81 mètres au-dessous de ce niveau. Tout ce bassin, dont quelques points sont encore plus bas de 3^{m},70, est couvert de sel. Cette partie basse de la ligne a une longueur de 183 kilomètres.

La ligne se relève ensuite au-dessus du niveau de la mer, pour atteindre la station terminale de Yuma, située à 46 mètres au-dessus de ce niveau.

Cette ligne, qui est à voie normale et dont le parcours entre Los Angeles et Yuma est de 330 kilomètres, présente, à la traversée des montagnes, des pentes de 0^{m},022 et des courbes de 175 mètres de rayon : on n'y compte pas moins de 20 souterrains dont un, celui de San-Fernando, a une longueur de 2123 mètres.

Sur l'un des versants, la voie a dû se développer en lacets, en faisant sur un point une boucle complète, dont les branches se croisent à des niveaux différents.

Francisco, extrémité occidentale de deux de ces lignes, occupe deux positions différentes en raison de leurs longueurs.

Le tableau ci-après permet de comparer les principaux éléments des cinq lignes.

INDICATION des lignes.	EXTRÉMITÉS.	LONGUEUR.	PLUS GRANDES altitudes franchies.	PASSAGES CORRESPONDANTS.	LATITUDES des points de passage.
Canadian Pacific.	Fort William... Port Moody.....	3134^{k}	1112^{m}	Col de la tête jaune (Montagnes Rocheuses).	52°54′
Northern Pacific.	Duluth....... Fort Vancouver.	3100	1770	Col de Deerlodge (Montagnes Rocheuses).	48°—
Union et Central Pacific........	Omaha .... San-Francisco .. (Oakland).....	3080	2514 2140	Sherman (Mont. Roch.). Summit (Sierra Nevada).	41°20′ 39°25′
Atlantic Pacific..	Saint-Louis..... San-Francisco..	3630	2181 2198	Campbell's Pass (Sierra Madre). Whipple's Pass (Sierra Madre.	35°22′
Texas Pacific et.. Southern Pacific.	Vicksburg...... San-Diégo......	2920	1743 1570	Guadalupe Pass (Montagnes Rocheuses). Ojo de la Vaca (Sierra Madre).	32°24′

Intercolonial Railway.

L'acte du Parlement anglais qui a constitué en 1867 la Confédération des provinces britanniques de l'Amérique du Nord, a imposé à la nouvelle Confédération l'obligation de construire, avec la garantie du Gouvernement anglais, un chemin de fer destiné à relier à Québec, capitale du Bas Canada, Halifax, capitale de la Nouvelle-Ecosse et le port du continent américain le plus rapproché de l'Europe. Prolongeant jusqu'au point le plus oriental des possessions anglaises la ligne du Grand Trunk Railway, ce chemin de fer forme dès à présent avec le précédent, à travers les quatre principales provinces de la Confédération, une ligne continue de 1870 kilomètres environ qui, en se rattachant à Détroit au réseau des chemins de fer des États-Unis, fait profiter la Confédération Canadienne toute entière de la communication par voie ferrée déjà ouverte entre la vallée du Mississipi et le Pacifique sur le territoire de l'Union, en attendant le moment où elle aura établi une communication semblable sur son propre territoire. Le Gouvernement du Canada a décidé de construire lui-même la ligne de l'Intercolonial Railway (c'est le nom de cette nouvelle ligne) à partir de la station de Rivière du Loup, extrémité orientale du Grand Trunk Railway, en contractant un emprunt de 75 millions garanti par le Gouvernement anglais. Pour placer cette nouvelle ligne, sur tout son parcours, sur le territoire Canadien, qui a été réduit par le traité d'Ashburton, conclu en 1842 pour délimiter la frontière entre les possessions britanniques et les États-Unis, à une zone étroite le long du Saint-Laurent, le tracé de la nouvelle ligne a dû faire un assez long détour.

Les ingénieurs canadiens ont cherché à l'éloigner autant que possible de la frontière, de manière à soustraire la voie ferrée aux incursions de l'ennemi, en cas de guerre, et à se rapprocher des points de la côte où se trouvaient les centres de population les plus importants. Le tracé suit d'abord sur une longueur de 125 kilomètres la rive même du Saint-Laurent, jusqu'à la station de Sainte-Flavie, puis passant près de cette station une première ligne de faîte, il se dirige vers la Baie de Chaleur, où il longe le littoral jusqu'à Bathurst, de manière à desservir les pêcheries de cette partie de la côte; ensuite, après avoir atteint la baie de Miramichi en se

tenant en général sur la ligne de partage des eaux entre le golfe du Saint-Laurent et la baie de Fundy, il gagne la Nouvelle-Écosse, où se trouve le point le plus élevé de la ligne, situé à 186 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Divers embranchements viennent se rattacher à l'artère principale de l'Intercolonial R.R. :

1° Au sud, un embranchement partant de la station de Moncton et aboutissant au port de Saint-John, capitale du Nouveau-Brunswick ;

2° Au nord, les embranchements de Shédiac et de Pictou, desservant les exploitations de houille de la côte septentrionale.

L'Intercolonial Railway se raccorde d'ailleurs à Halifax au chemin de fer plus ancien de Windsor et Annapolis, longeant la côte orientale de la baie de Fundy.

A l'imitation du Grand Trunk, dont il est le prolongement, le chemin de fer de l'Intercolonial est tracé en général avec des pentes très douces, ne dépassant pas $0^{m},011$, et des courbes dont le rayon n'est pas inférieur à 437 mètres. Le terrain, généralement accidenté sur tout le parcours de la ligne, a donné lieu à de profondes tranchées et à des remblais très élevés. Quelques-uns de ces remblais atteignent des hauteurs de 24 et de 30 mètres.

Contrairement à la pratique des ingénieurs américains, les ingénieurs canadiens se sont attachés à donner à tous les ouvrages de la ligne un caractère particulièrement substantiel, et à éviter les viaducs en bois et en métal. La plupart des aqueducs et ponts d'un faible débouché sont entièrement en maçonnerie ; pour pouvoir remblayer les vallées secondaires traversées en grand nombre sur le littoral, on a pris le plus souvent le parti de détourner les rivières et les ruisseaux au moyen de souterrains ; sur une longueur totale de 800 kilomètres, il n'y a pas moins de 1483 mètres de ces galeries.

On sait qu'en Europe un procédé analogue a été employé, au passage de plusieurs cours d'eau sur la ligne du Brenner où l'on a reconnu qu'il présentait l'inconvénient d'entraîner des dépenses d'entretien assez considérables à cause des dégradations que subissent les galeries souterraines, et des atterrissements qui se produisent dans les cours d'eau dont le régime se trouve modifié.

Tous les ponts qui forment ensemble une longueur de $4^{k},32$, sont en fer, la plupart en treillis ; un certain nombre, construits par des

entrepreneurs américains, ont été établis dans le système Linville.

Le cube moyen des déblais par mètre courant, pour la totalité de l'Intercolonial, atteint 14 mètres cubes; la voie unique établie d'abord avec la largeur de 5' 6" (1m,677), puis de 4' 8"1/2 (1m,435) pour pouvoir se raccorder avec les chemins de fer des États-Unis, a été posée entièrement en acier.

Les travaux, commencés en 1870, ont été terminés en 1876. La dépense totale, qui a atteint 111 millions de francs pour une longueur de 800 kilomètres à une voie, fait ressortir le kilomètre à 130 000 francs environ.

Le kilomètre du Grand Trunk auquel l'Intercolonial fait suite, n'avait pas coûté moins de 240 000 francs.

L'Intercolonial Railway, dont la construction a eu principalement un but politique, ne peut manquer d'exercer une influence favorable au développement des relations commerciales entre les diverses provinces qu'il relie, et qui, avant son établissement, étaient, surtout en hiver où la navigation est complètement suspendue sur le Saint-Laurent pendant près de six mois, complètement isolées. Son exploitation a éprouvé quelques interruptions pendant les premiers hivers; elle paraît mieux assurée, depuis qu'on a eu recours sur un certain nombre de points, à des galeries couvertes semblables à celles des lignes du Central et Union Pacific R.R.

CHAPITRE IV

PROFILS EN TRAVERS DES LIGNES ET TERRASSEMENTS

Généralités sur les profils en travers.

S'il est une chose peu définie sur la plupart des lignes américaines, au moment où elles sont livrées à l'exploitation, c'est le profil en travers. Ce n'est pas qu'on se dissimule l'intérêt que présente, pour la régularité et la sécurité de l'exploitation, un profil régulier disposé de manière à assurer à la voie une assiette solide et un assèchement aussi parfait que possible; mais on est toujours trop pressé de commencer l'exploitation, pour pouvoir attendre qu'on ait donné à la plate-forme sa largeur et son profil définitifs, et dès que cette plate-forme est dressée de manière à pouvoir recevoir des traverses, on s'empresse de procéder à la pose de la voie pour y faire circuler immédiatement les trains.

C'est à l'aide de l'instrument de transport fourni par la voie, que doit plus tard s'effectuer peu à peu l'élargissement de la plate-forme, de même que la pose du balast, dont on se dispense généralement au début.

Le même motif, qui fait qu'on établit le profil en long de manière à réduire le plus possible les terrassements, conduit à ramener le profil en travers à l'essentiel. En définissant par conséquent ce dernier profil pour un certain nombre de lignes, nous indiquerons souvent un type plutôt prévu que réalisé.

Ce type est lui-même généralement loin de répondre à ce que l'on exige sur la plupart des chemins de fer européens, ainsi qu'on peut en juger par les profils en travers que nous donnons pl. IV, pour un certain nombre de lignes. Les principaux éléments relatifs aux profils de ces lignes et de quelques autres, sont réunis dans le tableau suivant :

NOMS DES LIGNES.	LARGEUR DE VOIE.	LARGEUR D'ENTRE-VOIE.	EXCÉDANT DE LA LARGEUR de la plate-forme au-delà de l'axe des rails extérieurs.	LARGEUR TOTALE de la plate-forme en couronne (entre fossés) ou au sommet des remblais.	LARGEUR DES FOSSÉS en couronne.	PROFONDEUR DES FOSSÉS au-dessous du sommet de la plate-forme.
1° Double voie.						
	m.	m.	m.		m.	m.
Baltimore et Ohio......	1,435	2,13	1,10	7m,32 en débl. et rembl.	0,76	0,15
Pennsylvania Central...	1,445	2,13	1,44	8m,02 en débl. et rembl.	0,76	»
Philadelphia et Reading.	1,435	1,83	0,78 1,25	6m,40 en déblai. 7m,32 en remblai.	0,76	»
New-York Central et Hudson River...........	1,435	2,13	1,71	7m,62 en déblai. 8m,54 en remblai.	0,76	0,30
Erié	1,830	2,13	1,47	8m,85 en débl. et rembl.	1,22	»
2° Voie unique.						
	m.	m.	m.		m.	m.
Louisville-Nashville	1,525	»	1,34	4m,27 en débl. et rembl.	0,61	0,30
Alleghany Valley..	1,445	»	1,39	4m,27 en remblai. 6m,10 en déblai ordin. 5m,49 dans le roc.	0,91	»
Cincinnati-Southern....	1,525	»	1,50	4m,57 en remblai. 6m,10 en déblai ordin. 4m,88 en déblai de roc.	1,37	0,45
Intercolonial..........	1,435	»	2,000	5m,49 en débl. et rembl.	0,61	»

Sur la partie du New-York Central R.R. qui est construite avec quatre voies entre Albany et Rochester, la largeur de la plate-forme entre fossés se trouve portée à $14^{m},95$ ou à $15^{m},25$, suivant que l'élargissement a été pris symétriquement des deux côtés ou d'un seul côté, l'entre-voie centrale étant dans ce dernier cas de $2^{m},43$.

Sur le chemin de fer du Pacifique, prévu pour deux voies, mais provisoirement construit avec une seule voie, la largeur dans les tranchées est de $6^{m},10$ (20′) en terrain ordinaire, et de $5^{m},49$ (18′) dans la roche; on donne aux remblais $4^{m},27$ en couronne. Après avoir posé les traverses sur la plate-forme, on se contente, comme on n'emploie pas de balast, de ramener la terre des bords de la plate-forme vers le milieu, presque au niveau de la face supérieure des traverses, de manière à faciliter l'écoulement des eaux par un certain bombement.

Le bombement de la plate-forme est le cas le plus général; sur le Pennsylvania R.R., il est de $0^{m},20$ pour la double voie, et le prolongement de la plate-forme forme le fond du fossé.

Ce qui caractérise la plate-forme de la voie américaine, quand on la compare à celle des voies européennes, c'est l'absence complète ou le peu de largeur de la banquette réservée au pied du talus du balast, et le peu de profondeur des fossés, dont le fond ne descend qu'exceptionnellement au-dessous du niveau de la plate-forme. Sur certains chemins de fer du Canada seulement, construits sous l'influence des idées régnant en Angleterre, on retrouve au pied du balast une banquette de $0^{m},58$, le balast dépassant d'ailleurs en couronne le rail extérieur de $0^{m},96$.

On conçoit que le rapprochement des traverses, beaucoup plus grand en Amérique qu'en Europe, permette d'attacher moins d'importance à les engager dans le massif de balast, d'où, pour des motifs qui seront donnés plus loin, les ingénieurs américains tiennent à ce que presque toute la surface et souvent même les faces de tête des traverses émergent, et on s'explique ainsi qu'ils donnent moins de largeur au prisme de balast; mais la suppression de la banquette est susceptible d'exposer les traverses à se trouver en porte à faux, si des érosions viennent à se produire à la surface de la plate-forme. Malgré la précaution que l'on prend de donner à la plate-forme un certain bombement, ou de composer la couche inférieure du balast d'un lit de pierres faisant, jusqu'à un certain point, l'effet d'un drainage, on doit reconnaître que l'assèchement

du balast et de la plate-forme est bien imparfaitement garanti par le peu de profondeur des fossés. Si sur les terrains de gravier ou de rocher, comme on en rencontre fréquemment aux États-Unis, cet assèchement est néanmoins le plus ordinairement suffisant, il se présente aussi souvent des cas où il est loin de l'être, et, dans les États du Nord, les bouleversements périodiques auxquels la voie est exposée à la suite des dégels, seraient un motif de plus pour adopter à cet égard des dispositions plus efficaces et pour se rapprocher des types européens. L'élargissement de la plate-forme en tranchée aurait l'avantage, dans ces derniers États, de donner plus de place pour loger les neiges balayées par les chasse-neiges; il est recommandé, pour ce motif, par les ingénieurs canadiens, qui, ainsi que nous l'avons vu plus haut, mesurent plus largement à la voie l'espace que les ingénieurs des États-Unis.

Pour assurer l'assèchement de la plate-forme, les ingénieurs du chemin de fer Intercolonial ont souvent placé dans les tranchées ouvertes dans le terrain ordinaire, des drainages tels que nous les représentons fig. 8, pl. IV.

Les fossés relativement profonds du Cincinnati-Southern paraissent avoir été motivés par la mauvaise nature des terrains traversés, constitués, sur une grande partie de la ligne, par des couches d'argile mêlées de calcaires, où se sont déterminés, en cours de construction, des éboulements considérables. On a dû en outre sur certains points, pour les arrêter, exécuter des travaux de drainage. Sur une partie de cette ligne, où des remblais avaient été entraînés par un glissement, on a pris le parti d'exécuter des estacades provisoires (*trestle works*) pour les remplacer.

Des glissements analogues, survenus sur l'Intercolonial près de la station des Trois-Pistoles, ont été combattus par l'ouverture de galeries tant parallèles que transversales à la voie, descendues jusqu'à 9^{m},00 au-dessous de la plate-forme, où des tuyaux ont été posés pour assurer l'écoulement des eaux souterraines.

Travaux de consolidation.

Il est d'ailleurs rare que des travaux spéciaux soient effectués pour la consolidation des talus. Les murs de soutènement et les perrés, comme en général tous les ouvrages qui entraînent des travaux de maçonnerie, ne se rencontrent qu'exceptionnellement. On

se contente le plus souvent d'enlever les éboulis, à mesure qu'ils se produisent, pour les utiliser à l'achèvement des remblais. Les talus de déblai auxquels on donne habituellement en cours d'exécution une inclinaison de un de base pour un de hauteur, finissent parfois ainsi par acquérir une inclinaison double ou triple, en même temps que la plate-forme est plus ou moins élargie. Il est même arrivé que l'on a provoqué artificiellement des éboulements, pour exécuter des remblais. Le long de la rivière de Ristigouche, par exemple, au Canada, où la voie de l'Intercolonial était adossée à un coteau de gravier, on a amené, au moyen de canaux en bois, l'eau de sources jaillissant à une grande hauteur des collines voisines, pour l'employer, sous forme de jets, à désagréger des masses de gravier, destinées à former les remblais de la voie.

Pour défendre les remblais le long des cours d'eau, on a recours à des enrochements, soit seuls, soit emprisonnés dans des *cribs* ou encoffrements en charpente, consistant en cadres horizontaux superposés. Parfois, le crib est remplacé par des troncs d'arbres placés alternativement dans des directions rectangulaires, et formant ainsi des cadres en retraite les uns sur les autres, comme le montre le profil en travers fig. 19, pl. IV, emprunté à l'Intercolonial R.R. du Canada. On a aussi employé sur la même ligne, pour protéger les talus contre l'action des marées dans les terrains bas de la Nouvelle Écosse, des troncs d'arbres et des branchages disposés par lits horizontaux au pied des talus et agrégés au moyen de la riche substance plastique que les eaux de la mer déposent dans la baie de Fundy.

Pour la traversée des terrains marécageux, on s'est contenté parfois de placer des arbres tout entiers avec leurs branches, soit longitudinalement, soit transversalement à l'intérieur des remblais.

Il existe malheureusement beaucoup de lignes où aucune précaution n'est prise pour assurer la stabilité de la voie à la traversée des mauvais terrains, et des déraillements fréquents, qui laissent le long de la voie plus d'une épave significative, sont la conséquence de cette négligence. L'absence de travaux de défense, le long ou à la traversée des cours d'eau sujets à des crues subites, a eu en outre plus d'une fois pour résultat d'amener l'interruption de la voie, emportée partiellement par les eaux (*Washed out*).

La permanence et la sécurité de l'exploitation se ressentent en un mot de l'omission des travaux complémentaires dont il est

d'usage en Europe d'exiger l'achèvement avant l'ouverture des lignes, et dont on ajourne le plus souvent en Amérique l'exécution, pour l'effectuer à l'aide des premiers produits de l'exploitation, ce qui condamne les lignes peu productives à rester dans un état d'abandon qui les fait délaisser de plus en plus par le trafic, et contribue ainsi à précipiter la ruine des Compagnies qui les ont entreprises.

Par contre, il faut le reconnaître, bien des lignes aujourd'hui prospères n'auraient pas été construites, si l'on n'avait pas restreint les dépenses de premier établissement au strict nécessaire pour la pose de la voie comme pour tout le reste, vu l'impossibilité de réunir une plus grande somme de capitaux pour leur construction.

Exécution des terrassements.

Le motif qui porte les ingénieurs américains à économiser le plus possible le temps et l'argent dans le premier établissement des chemins de fer, prévaut surtout dans l'exécution des terrassements, où le prix de la main-d'œuvre et des transports a une influence prépondérante. Le prix de la journée d'un terrassier variant entre 1 et 2 dollars, soit de 5 à 10 francs, l'extraction des déblais ordinaires, sauf dans ces dernières années, où la crise commerciale a fini par abaisser les salaires presque au niveau de leur taux en Europe, a généralement coûté en Amérique deux fois plus que sur les chantiers européens ; quant aux transports en tombereau, qui auraient dû être proportionnellement moins chers, l'entretien d'un cheval ne coûtant pas sensiblement plus en Amérique qu'en Europe, on a été forcé le plus souvent de les restreindre le plus possible, faute de trouver des chevaux en nombre suffisant, et des chemins déjà praticables pour amener le matériel de transport.

Les déblais des tranchées, limitées tout d'abord à la largeur nécessaire pour le passage des trains, sont habituellement déposés à une très-faible distance du lieu d'extraction ; on se préoccupe plutôt de s'en débarrasser au plus vite et aux moindres frais possibles, que de les utiliser pour les remblais. Ceux-ci, qui n'ont ordinairement qu'une faible hauteur, en dehors de quelques cas exceptionnels, se font le plus souvent au moyen d'emprunts latéraux effectués de chaque côté de la voie.

Pour le travail d'extraction proprement dit, on a cherché à réduire le plus possible la main d'œuvre par l'introduction de nouveaux outils et de machines mues par la vapeur.

Scrapers. — Parmi les outils les plus simples, nous signalerons l'excavateur de petite dimension, désigné sous le nom de *scraper* (fig. 26, pl. IV).

Le plus usité est le scraper sans roues, qui consiste dans une caisse se terminant par une tranche acérée qu'un cheval traîne sur le sol, et qui est guidée dans son mouvement par un ouvrier au moyen de brancards. Pour opérer le chargement, on ajoute quelquefois un cheval de renfort, qui, dès que le scraper est rempli, le quitte pour être attelé à un autre scraper qui commence à son tour l'opération du chargement. Pour décharger le scraper, on soulève les deux brancards, et il reprend ensuite de lui-même sa position de charge. L'un des meilleurs scrapers, le scraper Doty a ordinairement une capacité de 15 à 25 centièmes de mètre cube. Le fond de la caisse est en bois dur, en fer ou en acier.

Le scraper est employé aussi bien pour les terrains résistants que pour les terrains meubles. Dans le premier cas, on commence par désagréger la roche par des coups de mine : le scraper vient ensuite ramasser et transporter les débris. Dans le second, on se contente de préparer le travail du scraper par un labour, à moins qu'il ne s'agisse de terres excessivement meubles, comme du sable ou du gravier, qui dispensent de tout travail préparatoire.

On peut, à l'aide de cet instrument, suivant que le terrain est d'une attaque plus ou moins difficile, et le remblai d'une hauteur plus ou moins grande, déblayer et transporter à une distance maxima de 60 mètres, de 35 à 50 mètres cubes, par journée de dix heures.

Il y a un charretier (*driver*) par scraper, et on ajoute en général un cheval de renfort par cinq scrapers.

Le plus souvent, on emploie le scraper à effectuer des remblais au moyen d'emprunts latéraux. On le charge alors en le promenant en biais vers l'emprunt, puis on le fait passer sur l'emplacement du remblai, où on le décharge, et on passe de l'autre côté du remblai pour le charger de nouveau, en le poussant en sens contraire. On a remarqué que, grâce à l'espèce de pilonnage que produisait le passage du scraper, les remblais faits au moyen de cet instrument tassaient moins que les autres.

Le prix des terrassements effectués à l'aide du scraper a varié,

dans ces dernières années, entre 50 centimes et 1 franc, par mètre cube transporté à une distance de 30 à 60 mètres.

Cet instrument est surtout avantageux dans les terrains meubles et de résistance uniforme; autrement, il éprouve des soubresauts qui en rendent la manœuvre difficile et le travail peu productif, malgré le perfectionnement consistant dans l'introduction de ressorts entre les brancards et la caisse pour amortir les chocs. Son emploi ne comporte d'ailleurs que de faibles distances de transports, ne dépassant guère celle des transports à la brouette.

On construit aussi des scrapers à roues de plus grandes dimensions, comportant une ou deux caisses pour le transport des déblais. L'excavateur est alors tiré par deux ou trois chevaux pendant la charge; on supprime l'un de ces chevaux pour conduire le scraper à la décharge.

Dans l'excavateur Judd, représenté fig. 27, pl. IV, il y a deux caisses formant chacune un quart de cercle, dont le bord inférieur, armé de dents, laboure le sol, et que l'on relève successivement à mesure qu'elles sont remplies. Les deux caisses peuvent contenir ensemble de $\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$ de mètre cube, et l'excavateur peut extraire par jour en moyenne, de 150 à 225 mètres cubes, à un prix inférieur de plus de moitié au prix des déblais à la pelle transportés au tombereau pour des distances variant entre 60 mètres et 250 mètres.

Le chargement des deux caisses se fait successivement. La caisse de devant étant abaissée, il suffit d'avancer pendant $\frac{1}{2}$ à 1 minute pour la remplir. Quand on la relève, ce qui se fait au moyen d'une manivelle, elle est maintenue dans cette position par un crochet d'embrayage. La seconde caisse étant ensuite remplie et relevée de la même façon, l'excavateur se dirige vers l'endroit où doit se faire le dépôt des déblais. En tirant une corde qui dégage la caisse et lui permet de faire un mouvement de rotation, le charretier opère le déchargement successif des caisses.

On compte en général, pour cinq excavateurs, un ouvrier pour aider au chargement et un ouvrier pour régaler à la décharge. On ajoute, suivant la distance du transport, un nombre variable d'attelages de renfort pour les terrains difficiles.

Un autre excavateur à roues, l'excavateur Slusser, n'a qu'une seule caisse, où les déblais extraits au moyen d'une cuiller analogue à un godet de drague sans fond, sont montés par un tablier flexible muni de palettes. On vide la caisse en la faisant tourner autour

d'un axe horizontal, de manière à en incliner le fond, puis on la relève au moyen d'un levier, ainsi que pour l'excavateur précédent.

On compte qu'un excavateur de ce système avec deux chevaux, un charretier et un homme à la décharge, peut faire le travail de trente terrassiers et de dix tombereaux, au prix de 20 francs par jour. Il paraît avoir été employé avec succès en Californie, au Canada et dans les États de l'Ouest.

Toutefois, l'usage des excavateurs à roues faisant office de tombereaux est jusqu'à présent loin d'être entré dans la pratique comme celui des petits excavateurs, d'une construction et d'une manœuvre beaucoup plus simples.

Dragues à sec. — Les divers systèmes de scrapers servent également à dresser le sol pour préparer l'emplacement de la voie. Pour élargir les tranchées et les remblais, une fois que l'exploitation est organisée, on se sert, surtout dans les terrains meubles et les roches désagrégées, de la drague à cuiller montée sur un train de wagon circulant sur une voie latérale.

La drague à sec employée à ces déblais ne diffère pas essentiellement de la drague à cuiller employée en Amérique pour les déblais sous l'eau. Dans certains types de drague à sec, notamment dans celui de Sage et Alger, représenté fig. 25, pl. IV, on a toutefois simplifié la manœuvre du manche de la cuiller, en rendant fixe l'extrémité supérieure de ce manche qui tourne autour d'un arbre porté par la flèche de la drague, et on a relié par une armature additionnelle le bord de la cuiller avec le manche. En abaissant la flèche, à mesure que l'on remonte la chaîne de suspension de la cuiller, on peut dresser les talus d'une tranchée suivant une inclinaison donnée. Lorsqu'on rencontre trop de résistance, il suffit de faire la manœuvre inverse pour dégager le godet.

Des excavateurs à sec construits par M. Starbuck de Troy (État de New-York) peuvent extraire chaque minute un cube de $0^{m3},75$. La manœuvre de l'excavateur occupe un mécanicien, deux dragueurs, un chauffeur et deux hommes pour le déplacement des wagons, et elle coûte, avec les dépenses en huile et en combustible, environ 100 francs par jour pour un cube extrait de 300 à 400 mètres dans les terrains peu résistants, ce qui fait revenir la dépense par mètre de 0 fr. 30 à 0 fr. 25. Le poids de la machine est de 4 à 5 tonnes.

Dans les terrains plus résistants, un système de griffes substitué à la cuiller permet d'obtenir la désagrégation préalable des déblais.

MM. John Souther et Cie, de Boston, construisent un excavateur perfectionné, où le bois est complétement remplacé par du fer dans la construction de la grue. Cet excavateur, mû par une machine à vapeur de vingt chevaux et pesant vingt-six tonnes, extrait les déblais de sable et de gravier avec une cuiller de 1^{m3},60 de capacité; dans le tuf, cette capacité est réduite à 0^{m3},90. Avec un personnel de deux mécaniciens, un chauffeur et cinq manœuvres, l'excavateur peut extraire de 750^{m3} à 900^{m3} par jour dans le gravier, en tenant compte du temps perdu a l'approche des wagons, et de 250^{m3} à 450^{m3} dans les terrains plus résistants.

Sur le chemin de fer du Pacifique, une grande partie des déblais d'élargissement ont été ainsi effectués, avec des excavateurs à sec, et ont été conduits à des distances plus ou moins considérables, pour remblayer les estacades provisoires en charpente, établies à la traversée des vallées.

Il n'est pas rare de trouver un certain nombre de dragues à sec dans le matériel que les Compagnies possèdent pour l'entretien de la voie, dont l'élargissement, ainsi que nous l'avons dit, se poursuit le plus souvent en cours d'exploitation.

Procédés d'extraction à la mine.

Emploi des machines perforatrices. — L'excavation à la mine, qui est très fréquente, les déblais étant souvent exécutés dans des roches très dures, appartenant aux formations géologiques les plus anciennes, a reçu depuis une dizaine d'années de notables perfectionnements, par suite de l'introduction de procédés mécaniques pour le forage des trous, et de l'usage de la dynamite.

Les perforatrices mûes par la vapeur ou l'air comprimé, ne sont pas seulement employées pour le forage des trous dans les souterrains; on les rencontre maintenant partout sur les grands chantiers de terrassements [1]. L'emploi des perforatrices a commencé à

1. Sur un chantier ouvert à Montréal (Canada) pour la construction d'un nouveau réservoir d'alimentation de la ville, on pouvait voir en 1876 une dizaine de perforatrices installées à la fois pour l'extraction des déblais dans la roche calcaire compacte. Les

prendre son essor en Amérique, à partir du moment où leur application au percement du Mont-Cenis en a démontré le caractère pratique et économique. Les résultats de cette application, portés à la connaissance des ingénieurs américains par le rapport de la Commission envoyée en Europe par l'Etat de Massachusetts pour étudier les procédés de M. Sommeiller, provoquèrent de nombreuses inventions, qui aboutirent finalement à des appareils résolvant d'une manière plus simple le problème de la perforation mécanique que les perforatrices européennes. La première perforatrice américaine, celle de Burleigh, a été employée tout d'abord au percement du grand souterrain de Hoosac (Massachusetts), en 1867. Elle a été suivie bientôt d'un grand nombre d'autres perforatrices, parmi lesquelles nous nous contenterons de citer celles d'Ingersoll, de Waring et de Wood.

Ces perforatrices peuvent se diviser en deux catégories: les machines à percussion, qui sont les plus répandues, et les machines à rotation continue, où l'on a recours, pour la désagrégation de la roche, au simple frottement d'une matière plus dure qu'elle, le diamant. Ces dernières machines, connues sous le nom *diamond drills,* sont surtout employées dans les sondages et au percement des puits.

Machines à percussion. — Les machines à percussion américaines employées sur les chantiers de chemin de fer sont construites d'après les mêmes principes que les perforatrices employées au Mont-Cenis et au Saint-Gothard; elles s'en distinguent surtout par la simplicité de leurs organes, la solidité de leur construction, le peu de volume qu'elles occupent, et la facilité avec laquelle elles se prêtent au percement des trous dans toutes les directions. La distribution de l'air comprimé ou de la vapeur y est en outre généralement commandée d'une manière directe par le piston, et tous les organes de la machine, placés intérieurement, se trouvent ainsi protégés contre toutes les chances de dégradation et d'accident.

Les perforatrices à percussion américaines battent en général un nombre de coups par minute notablement moindre que les perforatrices européennes : ce nombre de coups varie entre 90 et 110 pour les premières, tandis qu'il dépasse 200 pour les autres.

---

produits de l'extraction étaient sur le même chantier convertis immédiatement en matériaux d'empierrement au moyen de quatre concasseurs mécaniques.

Les compresseurs à air pour le travail en galerie sont aussi plus simples que ceux que l'on emploie en Europe; ils sont le plus souvent à simple effet, et l'échauffement produit par la compression y est combattu par une aspersion ou une circulation d'eau extérieure, et non intérieure, comme dans les compresseurs européens les plus perfectionnés. Sur les petits chantiers, on a parfois installé, pour la compression de l'air, des béliers hydrauliques, lorsqu'on disposait de chutes d'eau.

Les conduites destinées à la transmission de l'air comprimé sont généralement en fer; elles sont assemblées avec des joints à vis, et aboutissent à des tuyaux élastiques fixés sur les perforatrices. On estime en moyenne, pour des conduites de $0^m,155$ à $0^m,200$ de diamètre, la perte de charge à $\frac{1}{10}$ d'atmosphère par 100 mètres de longueur.

On aura une idée du travail accompli par les principales perforatrices américaines par les chiffres suivants :

Au souterrain de Hoosac, percé dans les gneiss et les micaschistes, chaque perforatrice Burleigh perçait un trou de $0^m,05$ de diamètre et de $3^m,50$ de profondeur en moyenne en $1^h,55$, soit un avancement de $1^m,84$ par heure; sur certains points, l'avancement a atteint $2^m,80$ par heure.

Au dérochement souterrain de Hellgate, sous la rivière de l'Est aux abords de New-York, la même machine, travaillant dans un gneiss résistant, forait couramment des trous de $1^m,50$ de profondeur en 16 minutes sous une pression de 3, 5 à 4 atmosphères, ce qui correspond à un avancement de $5^m,62$ par heure.

Dans la syénite extrêmement dure du souterrain de Musconetcong (New-Jersey), les perforatrices Ingersoll foraient des trous de $0^m,05$ de diamètre et de $0^m,50$ de longueur par heure, et elles ont été souvent maintenues en activité pendant trois et quatre mois sans réparation.

Perforatrices à diamant. — Quant à la perforatrice à diamant [1], consistant essentiellement en une tige de sondage, terminée par une couronne où sont enchassés des diamants, et recevant d'une machine à vapeur, un mouvement de rotation d'une vitesse de 200

1. C'est à un inventeur français, Leschot, que l'on doit l'idée de la perforatrice à diamant. Parmi les ingénieurs qui en ont perfectionné la construction, nous citerons M. de la Roche Tolay, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

à 400 tours par minute, son usage s'est surtout répandu depuis qu'on l'a perfectionnée, en y employant l'eau comprimée à produire sur la tête de la tige une pression constante (perfectionnement d'Allison). Cette pression est ordinairement de 7 à 8 atmosphères. Toutefois cette machine, peu portative et fort encombrante, ne vaut pas la machine à percussion pour le travail courant des tranchées et des souterrains; elle ne devient économique que pour les trous percés à une grande profondeur. Elle se prête surtout au forage des puits; en perçant, sur la section d'un puits, à la profondeur nécessaire pour atteindre la galerie horizontale d'un souterrain, un certain nombre de trous que l'on remplit de sable, et utilisant ensuite ces trous que l'on débouche progressivement comme trous de mine, on peut déterminer des abatages successifs et obtenir un approfondissement plus rapide que par les autres procédés [1].

Dans une série d'expériences, on a obtenu par minute les percements suivants, avec des trous de $0^m,03$ à $0^m,05$ de diamètre :

$0^m,025$ dans le quartz,

$0^m,075$ dans le granite,

$0^m,100$ dans le grès quartzeux y compris le temps perdu pour installations.

Le forage au diamant, d'abord restreint aux travaux des mines, est appliqué maintenant avec succès aux extractions de roches sous-marines et au travail des carrières [2].

---

1. Ce procédé a été appliqué au charbonnage de l'East Norwegian Colliery (Pennsylvanie) à deux puits, ayant une section l'un de $4^m,80$ sur 4 mètres, l'autre de $7^m,80$ sur $4^m,10$, qui ont été descendus à 485 mètres de profondeur au moyen de trous de mines au nombre de 25 pour l'un, 35 pour l'autre, à travers une roche schisteuse. Les perforatrices à diamant, qui travaillaient ensemble au nombre de sept, perçaient chacune une longueur moyenne de trou de 10 mètres en vingt-quatre heures. L'approfondissement et l'élargissement de chaque puits marchait en moyenne à raison de 24 mètres d'avancement par mois.

Le forage des puits était divisé par étages de 90 mètres de hauteur environ; chaque fois que l'on avait atteint cette profondeur avec les trous, on reprenait l'extraction par sections en faisant d'abord sauter la partie centrale, puis le pourtour du puits; on réinstallait ensuite au fond du puits ainsi approfondi les perforatrices qui, dans l'intervalle, avaient été transférées dans l'autre puits.

Le creusement de l'un des puits a demandé 4 ans et 3 mois, celui de l'autre 4 ans et 6 mois (Drinker).

2. Nous croyons devoir mentionner ici un progrès important réalisé en 1877 par M. Brandt, ancien ingénieur du tunnel du Saint-Gothard, sur les machines perforatrices à rotation. M. Brandt, au lieu de garnir la couronne de diamants, emploie un tube en acier, dentelé sur la face d'attaque.

Tandis que la perforatrice à diamants ne travaille que sous une faible pression, en

Matières explosibles employées dans les travaux à la mine.

La dynamite a commencé à être substituée à la poudre pour les extractions à la mine dans les souterrains, à partir de l'année 1866, où on l'a employée pour la première fois au tunnel du Hoosac. Son usage s'est ensuite généralisé très rapidement, les avantages que présente sa plus grande force explosive n'ayant pas tardé à être partout appréciés.

L'emploi de la poudre ordinaire est restreint aujourd'hui aux chantiers de faible importance et aux cas où l'action brisante de la dynamite peut présenter des inconvénients.

La nitro-glycérine est d'ailleurs associée dans des proportions très variables, soit à d'autres matières explosives, soit à des matières inertes, aussi bien dans un but d'économie que pour rendre son action moins instantanée.

Pour les premiers abatages dans les souterrains, on emploie généralement la dynamite contenant 75 pour 100 de nitro-glycérine et 25 pour 100 de terre à infusoires. C'est ce qu'on appelle le *Giant's powder* n° 1.

Pour l'élargissement des galeries, on diminue dans le mélange explosif la proportion de nitro-glycérine. Les mélanges connus sous le nom de dynamite n° 2, lithofracteur, dualine, rendrock, contiennent, avec une proportion de nitro-glycérine qui varie de 40 à 52 pour 100, du nitrate de soude ou de potasse, et diverses autres matières, variant d'un mélange à l'autre : paraffine, charbon, sciure de bois. Le *vulcan powder*, qui est également employé, est un mélange

---

faisant 400 tours et même plus par minute, la perforatrice de M. Brandt ne fait que de 5 à 8 tours par minute, mais sous une pression considérable. Ainsi, sur un instrument de 80 millimètres de diamètre extérieur et muni de 5 dents, la pression est de 6000 kilogrammes.

Le *diamond drill* avance en quelque sorte en usant la roche par frottement, tandis que la perforatrice Brandt agit comme une scie.

Tant pour le moteur que pour la pression à exercer sur les dents, on se sert d'eau comprimée.

Le tunnel du Sonnenstein (Autriche), de 1430 mètres de longueur, a été terminé en 1877 à l'aide de la perforatrice Brandt. Pour le calcaire tendre, l'eau était comprimée à 50 et 60 atmosphères ; pour le calcaire dur, à 100 et 125 atmosphères. Les trous avaient 80 millimètres de diamètre, et l'on avançait en moyenne par minute, dans le calcaire dur, de 30 millimètres ; à la main, l'avancement des trous de 26 millimètres de diamètre n'était que de 15 millimètres en moyenne. (Extrait du journal *Zeitschrift des Œsterr. Ingenieur u. Architecten Vereines*, 1878. — Notice de M. de Grimburg.)

de poudre et de nitro-glycérine contenant de 16 à 33 pour 100 de cette dernière substance.

Des expériences faites par M. Drinker tendraient à prouver que la présence de la nitro-glycérine dans ces mélanges communique aux autres matières du mélange une partie de ses propriétés.

On s'est servi dans certaines extractions à la mine du *mica-powder*, qui est une dynamite contenant seulement 52 p. 100 de nitro-glycérine, où l'on a remplacé la terre à infusoires par du mica. On attribue à cette substitution la propriété de mieux se prêter à l'emploi de la nitro-glycérine à faible dose dont l'absorption par la terre à infusoires peut dans une certaine mesure contrarier l'action, ce qui n'a pas lieu avec une matière non poreuse comme le mica. Le défaut de pouvoir absorbant de cette dernière matière ne permettrait pas d'ailleurs de l'employer mélangée en faible proportion avec la glycérine, qu'elle laisserait en grande partie liquide.

CHAPITRE V

OUVRAGES D'ART. — PONTS

Généralités.

Le système de construction des ponts constitue essentiellement le trait caractéristique des chemins de fer américains. On sait que, tandis qu'en Europe et surtout en France, les ponts en maçonnerie ont été, surtout au commencement, la règle, les ponts en bois ou en métal, l'exception, c'est le contraire qui a eu lieu en Amérique, où le bois se trouvant à l'origine fort abondant dans un grand nombre d'États, les constructions de toute espèce ont été d'abord exécutées en bois. L'emploi de cette matière exigeant peu de temps et de main-d'œuvre était particulièrement approprié aux conditions de célérité et d'économie qui s'imposaient dans ce pays à l'établissement des chemins de fer.

On rencontre bien sur certaines lignes de construction déjà ancienne, comme les chemins de fer de Baltimore et Ohio, de Philadelphia et Reading et du Pennsylvania Central, quelques ponts en maçonnerie ; mais ils sont en somme fort peu nombreux, et il est extrêmement rare qu'on en construise aujourd'hui autrement que pour de très-faibles portées [1].

C'est donc à la construction des ponts en charpente que l'art de l'ingénieur s'est surtout exercé, et la nécessité d'adapter ce système de construction à de plus grandes portées, ainsi qu'à de plus fortes charges, telles que celles qui résultent du passage des trains, a eu pour résultat d'amener la création de nouveaux types, qui n'ont pas tardé à se vulgariser même en Europe.

1. Nous signalerons parmi les ponts d'une certaine ouverture en maçonnerie : le viaduc situé près de Relay, station à la jonction de l'embranchement de Washington avec le tronc principal du Baltimore et Ohio; le viaduc de Conemaugh situé sur le Pennsylvania Central, à la base occidentale des Alleghanies, et plusieurs ponts biais composés d'arcs droits, sur le réseau pennsylvanien et sur le Philadelphia et Reading R.R. Un de ces ponts franchit les chutes du Schuylkill, un peu en amont de Philadelphie.

Ces types, dont quelques-uns seulement ont continué à être en usage en Amérique pour les ponts en bois de moyenne ouverture, ont été à leur tour le point de départ d'autres types plus spécialement appropriés à l'emploi de la fonte et du fer, et susceptibles d'être appliqués à de très-grandes portées. Exécutées d'autre part tout d'abord d'après des règles purement empiriques par des constructeurs dépourvus de connaissances scientifiques, les fermes américaines ont fait ensuite l'objet d'études de plus en plus approfondies, au fur et à mesure des progrès de l'instruction technique des ingénieurs, recrutés en partie dans l'émigration européenne, et la construction en est devenue ainsi à la fois plus rationnelle et plus économique [1].

Les principes sur lesquels repose l'établissement des différents types américains, et les perfectionnements qu'ils ont reçus, concourent à en rendre l'étude particulièrement instructive.

Nous donnerons tout d'abord des systèmes de construction en bois les plus usuels un aperçu qui servira d'introduction à l'examen des systèmes de construction entièrement en métal, ou en métal et en bois (*combination trusses*), sur lesquels se concentre principalement l'intérêt.

AQUEDUCS.

Avant d'aborder la construction des ponts en bois, nous ne dirons qu'un mot de celle des simples aqueducs.

Ce sont habituellement des aqueducs dallés avec culées en maçonnerie à pierres sèches ou à bain de mortier, ou bien de simples canaux en bois; il existe aussi beaucoup d'aqueducs formés par des culées en pierres sèches ou en charpente, qui supportent au moyen de longrines les traverses de la voie.

PONTS EN BOIS.

Petites portées. — La plupart des ponceaux se construisent avec de simples poutres tant que la portée ne dépasse pas 5 mètres; au-

1. Au nombre des ingénieurs qui ont le plus contribué à perfectionner au point de vue théorique et pratique la construction des ponts, il faut citer : MM. Whippie, Fink, Post, Linville, dont les noms sont restés attachés aux principaux systèmes de fermes; MM. H. Haupt, Shaler Smith, J. Röbling, col. Merrill, J. M. Wilson, Pettit, C Mac Donald, et Chas. E. Greene.

delà, pour des portées allant jusqu'à 10 et 12 mètres, les ponts en charpente se présentent sous la forme de poutres armées de différents types dont les plus fréquents sont représentés par les fig. 17, 18, 19 de la planche V.

Les longrines, portant les rails par l'intermédiaire des traverses, sont renforcées par un système de tirants et de poinçons simples ou doubles. Souvent aussi on emploie la poutre armée renversée, dont on rencontre de nombreuses applications sur le chemin de fer du Pacifique.

Il n'existe habituellement sur ces ponts, ni platelage, ni gardecorps.

Moyennes portées. — *Système Burr.* — Au début de l'établissement des chemins de fer, les fermes les plus usuelles pour les ponts d'une certaine portée, consistaient en deux cours de poutres parallèles reliés par des poteaux verticaux que contrebutaient des arbalétriers inclinés.

Beaucoup de voies ferrées ont été dans le principe posées sur des ponts plus ou moins anciens construits dans ce système, que l'on a renforcés par des arcs en bois montant jusqu'au niveau des semelles supérieures, et reliés par des boulons aux fermes droites. Ce système mixte a été ensuite appliqué, sous le nom de système Burr, à de nouveaux ponts pour chemins de fer, principalement en Pennsylvanie et sur le réseau du Baltimore et Ohio R.R.

Les figures 44, 45, planche V, extraites du Traité de M. Herman Haupt sur la construction des ponts, et relatives à un pont couvert de ce système, exécuté sur le Pennsylvania Central R.R. au passage de la rivière de Sherman, et comprenant deux travées de $45^{m},17$ d'ouverture, en font comprendre les dispositions principales.

Les fermes à semelles parallèles, renforcées par des arcs, ont cela de particulier, que des boulons, intercalés parallèlement aux contrefiches, y font office de contretirants, et que les intervalles ou panneaux compris entre les poteaux verticaux vont en croissant des points d'appui aux milieux des fermes.

L'un des spécimens les plus remarquables de l'application du système Burr était jadis le grand pont du même chemin de fer Central de Pennsylvanie sur la Susquehanna près d'Harrisburg, établi en biais avec vingt-trois travées de 43 mètres d'ouverture et 6 mètres de flèche, décomposées chacune en seize panneaux par les

tirants de suspension reliant l'arc à la ferme droite; ce pont a été tout récemment reconstruit en fer.

L'indétermination qui affecte la répartition des charges entre l'arc et la ferme droite, et la complication que présente leur double érection, ont fait abandonner ce système de fermes, beaucoup mieux approprié à la consolidation de ponts déjà existants qu'à la construction économique de nouveaux ponts.

Systèmes Town et Long. — On a aussi employé à l'origine, pour les ponts de chemin de fer, le treillis en bois ou ferme du système *Town*, qui offre sur la ferme précédente l'avantage de pouvoir être entièrement construit avec des bois de faible équarrissage.

Les ponts ainsi établis, après avoir joui au début d'une grande faveur à cause de leur simplicité de construction, sont devenus très-rares à la suite de plusieurs accidents qui doivent être attribués à la fois à ce qu'ils ont été soumis à des surcharges pour lesquelles ils n'avaient point été établis, et à des vices de construction. Le plus souvent, on constate sur ceux qui existent encore, que les barres du treillis ne présentent pas d'accroissement de section vers les points d'appui.

On a également abandonné depuis longtemps les fermes du système *Long*, où le treillis était remplacé par des croix de Saint-André séparées par des poteaux en bois.

Système Howe. — La ferme du système Howe (fig. 1, pl.V), où des tirants verticaux en fer munis d'écrous de serrage remplacent les poteaux en bois de la ferme Long, marque un progrès important dans la construction des ponts en charpente pour chemins de fer.

Le premier pont construit dans ce système date de 1840 : c'était un pont pour route de 23 mètres d'ouverture. Dès la même année, la ferme Howe était appliquée à Springfield, (Connecticut) à la construction d'un pont à trois travées de 54^{m},80 d'ouverture sur le Connecticut, pour le passage du chemin de fer de Boston à Albany, remplacé treize ans plus tard par un autre pont du même système, et seulement en 1872 par un pont métallique en treillis.

La simplicité de construction de la ferme Howe, la facilité avec laquelle on peut en opérer le montage, la rigidité qu'elle est susceptible d'acquérir par le serrage des écrous des tirants, ont contribué à en généraliser l'emploi sur presque toutes les lignes de chemins de fer, où elle est considérée comme la ferme classique

(*standard truss*). C'est dans ce système que l'on construit encore aujourd'hui, sur les nouvelles lignes des États de l'Est, de l'Ouest et du Pacifique, la plupart des ponts dont la portée ne dépasse pas 150 pieds ($45^m,75$).

Les figures 1 à 9 de la planche VI, extraites du Manuel des chemins de fer de Vose, qui se rapportent à un pont de 39 mètres de portée construit à Ore Hill près Salisbury (Connecticut) sur le Connecticut Western R.R., en reproduisent un des meilleurs spécimens.

Les fermes de ce pont, de $6^m,60$ de hauteur, sont divisées chacune en 12 panneaux égaux. Les cours supérieur et inférieur de semelles (*upper et lower chords*) sont composées de quatre files de pièces assemblées au moyen de clés et d'étriers : les bras des croix de Saint-André reposent par leurs abouts dans des boites en fonte que traversent les tirants verticaux des fermes. D'autres croix disposées horizontalement au-dessus et au-dessous servent à contreventer le pont. Les deux fermes, écartées de $4^m,20$ à l'intérieur, portent la voie unique au moyen d'entretoises, de longrines et de traverses superposées.

Système Pratt. — Un autre système de fermes, moins fréquemment appliqué aux ponts en charpente, celui de Pratt (fig. 2 et 4, pl. V.), diffère du précédent par la substitution de tirants en fer aux croix de Saint-André en bois, et de poteaux en bois aux tirants verticaux en fer.

La ferme du système Pratt, par cela seul qu'il y entre plus de fer que dans la ferme Howe, est moins économique que celle-ci : il est d'ailleurs plus difficile d'y régler la tension des tirants que dans la ferme Howe.

Elle reprend toutefois l'avantage sur cette dernière ferme quand on la construit entièrement en fer, et nous la retrouverons plus loin appliquée sur une grande échelle avec certaines modifications aux ponts métalliques ainsi qu'aux ponts en fer et bois.

Efforts de rupture. — Essences employées. — Exécution. — Prix de revient.

Dans le calcul de ces divers systèmes de ponts en bois, on admet habituellement, d'après les expériences de Barlow et d'Hodgkinson, une résistance à la rupture par extension par millimètre carré de 7 à 10 kilogrammes pour le chêne, et de 7 à 8,6 kilogrammes pour le

sapin, et une résistance à la rupture par compression moindre de moitié pour les mêmes essences [1].

Ces chiffres sont généralement affectés d'un coefficient de sécurité qui varie entre un cinquième et un dixième [2].

Les bois de charpente les plus fréquemment employés sont : le chêne, le *yellow pine*, le *red pine* et le *white pine*, dont on se sert principalement dans les États de l'Est (les deux dernières essences sont surtout abondantes au Canada) ; le *pitch pine*, surtout commun dans les États du Sud ; le *red wood* (*sequoia semper virens*), et le sapin de l'Orégon sur la côte du Pacifique.

En raison de leur portée généralement médiocre, les ponts en bois sont calculés de manière à supporter une surcharge composée exclusivement de locomotives, soit de 3500 à 4000 kilogrammes par mètre courant suivant la portée ; le poids de la construction étant lui-même évalué à 750 kilogr. par mètre courant de voie.

Pour diminuer le plus possible la main-d'œuvre, simplifier le montage, faciliter le remplacement des pièces, utiliser partout leur pleine section pour la résistance, et placer leurs abouts dans les meilleures conditions de conservation, on a recours aux assemblages les plus simples : on se contente le plus souvent de faire buter l'une contre l'autre les extrémités des pièces en contact, en se bornant à y ménager les entailles ou les trous nécessaires pour en assurer la solidarité au moyen de clés, d'étriers ou de boulons, sans pratiquer ni embrèvements, ni tenons, ni mortaises. On n'emploie guère à la préparation comme au montage des charpentes en bois que trois outils : la scie, la hache et la tarière.

Nous avons déjà donné, pl. VI, fig. 5, 6 et 7, les assemblages relatifs à une ferme de système Howe ; les fig. 15 à 18, pl. XVI, reproduisent deux systèmes d'assemblage pour relier des pièces travaillant à l'extension, dûs à M. B. H. Latrobe [3].

1. Les expériences les plus récentes faites en Angleterre pour déterminer la résistance à la rupture par flexion des bois de l'Amérique du Nord et de la Baltique, ont donné $3^k,70$ par millimètre carré, pour les sapins de la Baltique. Cette résistance a varié entre 4 kilogr. et $5^k,7$ pour le *pitch pine*, entre $3^k,30$ et $3^k,40$ pour le *red pine*, et entre $2^k,8$ et $3^k,40$ pour le *yellow pine* (*Engineer* du 23 février 1877).

2. M. H. Haupt, qui a construit un grand nombre de ponts en bois, a généralement admis, tant à la compression qu'à l'extension, un effort limite de $0^k,70$ par millimètre carré, correspondant à $\frac{1}{10}$ de l'effort de rupture par extension et à $\frac{1}{5}$ de l'effort de rupture par compression.

3. Ces figures sont empruntées au *Railroad Gazette* du 18 octobre 1878.

Pour rendre solidaires les pièces parallèles juxtaposées, on se sert de préférence aux coins ou clés, qui tendent à les affaiblir à cause des entailles, de disques légèrement concaves en fonte dont le double rebord pénètre dans les faces opposées des pièces de bois, sous la pression obtenue en serrant l'écrou du boulon qui traverse le disque en son centre (fig. 13 et 14, pl. XVI).

Pour tous les ponts en bois d'une certaine importance, des précautions spéciales sont prises pour prévenir les incendies et le dépérissement des bois. Le tablier portant les rails est à jour, et des réservoirs d'eau sont habituellement placés à chaque extrémité pour pouvoir arrêter les commencements d'incendie. Les ponts à tablier inférieur sont en outre couverts complétement par un toit; pour les ponts à tablier supérieur, des appentis sont disposés depuis les rails jusqu'au delà des fermes pour abriter celles-ci contre la pluie. Malgré ces précautions, il est difficile d'assurer aux ponts en bois une longue durée.

On peut toutefois citer comme ayant eu une durée exceptionnelle le pont situé sur la Delaware à Trenton au passage de l'embranchement du Pennsylvania R R., reliant Philadelphie et New York. Cet ouvrage, construit en 1803, comprenait cinq travées en arcs d'une ouverture variant entre 50 et 62 mètres. Après avoir été approprié au passage des trains en 1848, et renforcé à cet effet par des arcs additionnels supportant la voie au moyen de tiges de suspension, il a duré jusqu'en 1874, époque à laquelle il a été remplacé par un pont métallique. L'essence employée à la construction de ce pont était le *yellow pine*.

L'emploi du bois pour les ponts d'une certaine portée ayant l'inconvénient multiple d'alourdir la construction, d'accroître les chances d'incendie, d'offrir plus de prise au vent et d'exiger au bout d'un certain temps le remplacement successif de toutes les pièces de charpente, tend à devenir de jour en jour moins usuel dans les États de l'Est.

La Compagnie des chemins de fer de Pennsylvanie a commencé dès l'année 1851 à reconstruire en fer les ponts de son réseau, et sur l'une de ses principales lignes, celle de Philadelphie à Harrisburg, d'une longueur de 169 kilomètres, c'est à peine si la longueur totale de tous les ouvrages en bois encore subsistants réunis atteint aujourd'hui 150 mètres.

Nous avons déjà dit qu'il n'en existait plus sur la ligne du Balti-

more et Ohio, ni sur celle de l'Érié, non plus que sur le New-York Central.

Dans les États du Sud, de l'Ouest et du Pacifique, les bois étant restés d'un emploi beaucoup plus économique que le fer, à cause de l'éloignement des usines métallurgiques, on continue encore à construire des ponts en bois. Nous avons vu plus haut qu'il en avait été établi un très grand nombre sur les lignes de l'Union et du Central Pacific; sur toutes les lignes construites en Californie, ils n'en existe guère d'autres.[1].

Sur la ligne récemment construite du Cincinnati Southern R.R., l'emploi du bois a été limité aux ponts par dessus la voie et aux ponts inférieurs de 20 mètres de portée maxima; le tableau ci-après, emprunté au compte rendu de l'Ingénieur en chef de la Compagnie pour 1877, donne une idée de l'importance de ces ouvrages et de leur prix de revient.

Le prix du bois a varié pour les ponts entre 75 francs et 100 francs par mètre cube : le prix du fer s'est peu écarté de 1 franc par kilogramme.

Indépendamment de ces ouvrages, la ligne du Cincinnati Southern comprend un grand nombre de ponceaux de 3 mètres d'ouverture, constitués par de simples poutres posées sur des culées en maçonnerie, pour lesquels le cube de bois employé ne dépasse pas 3^{m3}, ni le poids du fer 10 kilog. Les essences les plus communément adoptées pour les ouvrages de cette ligne sont le *white pine* et le *yellow pine*.

Les figures 11 et 14, planche XVII, donnent les profils normaux des tabliers des ponts en bois de cette ligne.

Les triples longrines qui supportent les traverses sont garanties par des feuilles de tôle galvanisée contre le feu qui pourrait leur être communiqué par les escarbilles tombant des locomotives. En outre, de part et d'autre des rails, des garde-rails en bois servent à relier les traverses et à diminuer les dangers résultant des déraillements.

1. On aura une idée de l'importance qu'a conservée la construction des ponts en bois par la longueur totale des ouvrages de ce genre, exécutés de 1865 à 1873 par la Keystone bridge Cy, dont la spécialité est aujourd'hui la construction en fer. Cette longueur atteint 14,500 mètres pour un total de 143 ponts.

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	PORTÉE.	SYSTÈME DE CONSTRUCTION.	NOMBRE de panneaux.	HAUTEUR des fermes.	LARGEUR entre fermes.	CUBE du bois employé par mètre courant.	POIDS de fer ou fonte par mètre courant.	PRIX par mètre courant de super-structure.
	m.			m.	m.	m³	k.	fr.
Cinthiana Pike	9,00	Poutre armée à tablier inférieur	2	2,40	4,50	3,67	174	450,00
Middle fork of Dry run.	12,20	» » » » »	3	3,00	4,50	3,11	199	223,80
West fork of Dry run.	9,00	» » » » »	2	2,40	4,50	3,50	167	226,50
Dry run	19,30	Poutre Howe, tablier inférieur	6	6,86	4,80	3,59	358	349,50
Paris pike	12,10	Poutre armée, tablier inférieur, biais de 49°	3	3,05	4,50	3,04	164	403,50
Dry fork of Cane run.	12,20	Poutre armée, en courbe, tablier supérieur	3	3,10	3,10	4,22	280	642,00
Jessamine creek	18,30	Poutre Howe, tablier supérieur	8	2,90	3,10	3,38	357	352,00
Clark's run	9,00	Poutre armée, tablier inférieur	2	2,45	4,50	3,15	117	521,00
Knob lick	7,40	— tablier supérieur, système mixte	2	1,40	3,05	3,82	360	629,00
White oak creek	11,00	Poutre Fink, tablier supérieur, système mixte	4	1,50	3,05	3,00	555	795,00
Branch of Harris creek.	6,40	Poutre armée, système mixte, tablier supérieur	2	1,20	3,05	4,72	405	760,00
Harris creek	16,77	Poutre Howe, tablier supérieur	6	4,00	3,10	4,13	310	346,00
Turnpike creek	12,00	Poutre armée, tableau inférieur	3	3,05	4,55	3,00	187	495,00
Town creek	12,00	» » » »	3	3,05	4,55	2,91	163	457,00

PONTS MÉTALLIQUES.

Les fermes des systèmes Howe et Pratt, caractérisées par la substitution du fer au bois pour une partie des pièces soumises à des efforts de tension, peuvent être considérées comme un premier acheminement vers la construction des ponts métalliques. Cette construction a surtout fait des progrès à partir de la cessation de la guerre de sécession pendant laquelle un grand nombre de ponts en charpente avaient été incendiés, principalement dans les États de Virginie, Maryland et Georgie, et elle a reçu une impulsion nouvelle, lorsque la construction des chemins de fer a été reprise avec cette extrême activité qui a caractérisé les années 1870, 1871 et 1872.

Le prolongement d'un grand nombre de lignes à travers les grands fleuves du bassin du Mississipi conduisant forcément à des travaux de fondation difficiles et coûteux, on dut, pour en réduire la dépense, chercher à accroître les portées, et pour cela recourir à l'emploi du fer, indispensable d'ailleurs pour assurer aux ouvrages une durée en rapport avec leur importance. Cette nécessité une fois admise pour les ponts sur les grands fleuves, en déterminant la création d'un grand nombre d'usines pour le travail du fer spécialement appliqué à ce genre de construction, a eu pour conséquence d'étendre peu à peu l'emploi de ce métal aux ouvrages de moindre importance.

La généralisation de cet emploi a été en outre favorisée par l'adoption de types économiques et par les progrès considérables accomplis par l'industrie du fer en Amérique dans ces dernières années.

Conditions générales de débouché et de hauteur libre.

A l'occasion de la construction de ces ponts, jetés sur de grands fleuves où le maintien et le développement de la navigation présentent un intérêt de premier ordre, le gouvernement fédéral a dû intervenir presque dès l'origine pour fixer des conditions de débouché et de hauteur libre, que les ingénieurs du gouvernement, appartenant au corps du génie militaire, sont spécialement chargés de déterminer.

Les compagnies ont ordinairement la faculté du choix entre les ponts fixes et les ponts mobiles.

Les grandes dimensions des bateaux à vapeur qui naviguent sur le Mississipi et ses affluents, et les variations fréquentes que subissent sur ces divers cours d'eau la vitesse et la direction des courants, ainsi que la position et la profondeur des chenaux, font que les débouchés et la hauteur libre doivent être calculés très-largement pour pouvoir satisfaire aux exigences de la navigation[1].

Ponts fixes. — Pour les ponts fixes, des actes du Congrès déterminent un minimum de hauteur libre à ménager au-dessus des plus hautes eaux, et un minimum d'ouverture à donner à la travée marinière et aux travées les plus voisines.

Sur le Mississipi en amont de Saint-Louis, et sur le Missouri, le Congrès a généralement prescrit un minimum de hauteur libre de 50′ (15^m,25) au-dessus des plus hautes eaux. Sur l'Ohio, cette même hauteur a été fixée :

à Wheeling, à 14^m,65 ;

à Steubenville, à 27^m,45 ;

à Cincinnati, à 13^m,20 pour le grand pont récemment construit sur le Cincinnati Southern R.R.

L'ouverture minima de la travée marinière des ponts fixes a été le plus souvent fixée, soit à 300′ (91^m,50), ou à 350′ (106^m,75) sur le Mississipi et le Missouri, et à 300′ (91^m,50), puis à 400′ (122^m,00) sur l'Ohio.

---

1. Le tableau ci-après, extrait du rapport récemment publié du général Warren sur les ponts du Mississipi, donne, pour les principales dimensions des bateaux qui naviguent sur ce fleuve et sur l'Ohio, un de ses principaux affluents, les chiffres suivants :

DIMENSIONS.	SUR L'OHIO en amont de Cincinnati.	SUR LE MISSISSIPI.
Longueur	76 à 96 mètres.	76 à 103 mètres.
Largeur maxima	21 mètres.	22 à 28 mètres.
Hauteur du poste du pilote au-dessus du niveau de l'eau	14^m,60.	14 à 22 mètres.
Hauteur du sommet des cheminées au-dessus du même niveau	20 à 23 mètres.	20 à 32 mètres.

Indépendamment de ces grands steamers, il existe des vapeurs plus petits remorquant jusqu'à 32 chalands à la fois et de nombreux trains de bois.

Les travées latérales doivent avoir généralement de 200′ à 300′ (de 61m,00 à 91m,50).

Ponts tournants. — Pour les ponts tournants établis sur ces trois cours d'eau, le Congrès a le plus souvent exigé une ouverture de 160′ (48m,80) pour chacun des deux passages que démasque la double travée tournante, et une hauteur libre sous le tablier de 10′ (3m,05), en stipulant pour les travées adjacentes les mêmes ouvertures que ci-dessus.

La tendance est aujourd'hui à profiter des progrès accomplis dans la construction des ponts à grande portée pour accroître les ouvertures. C'est ainsi qu'on a donné à la travée marinière du grand pont de Cincinnati, déjà cité, une ouverture de 520′ (158m,60), et porté à 200′ (61m,00) celle des deux travées du pont tournant de Louisiana (Missouri) sur le Mississipi construit en 1873[1].

Types généraux de construction.

La plupart des ponts entièrement métalliques ou mi-partie en bois et en métal (*combination trusses*) construits en Amérique, quand leurs portées dépassent les limites d'emploi de la simple poutre droite, peuvent être rattachés à deux types généraux :

Type de la poutre armée, soutenue par un nombre plus ou moins grand de poinçons et de tirants (systèmes de fermes *Fink* et *Bollman*).

Type de la poutre à semelles parallèles réunies par des pièces, soit les unes verticales et les autres inclinées, soit toutes inclinées, ces pièces pouvant s'entrecroiser en un ou plusieurs points, ou ne se rencontrer qu'à leurs extrémités.

Dans cette dernière catégorie se rangent : 1° les fermes *Howe* et *Pratt* précédemment décrites, où les pièces inclinées s'appuient contre les abouts des pièces verticales sans les croiser ; 2° la ferme *Whipple-Linville*, qui diffère des deux précédentes par le croisement des pièces des deux systèmes vertical et incliné ; 3° la ferme *Post*, avec montants et tirants tous inclinés présentant deux systèmes d'incli-

1. Le rapport déjà cité du général Warren constate que, malgré la plus grande ouverture de ses travées, le pont de Louisiana dont une pile s'est effondrée en 1876, à la suite d'un affouillement, est un de ceux qui offrent à la navigation le plus de difficultés, à cause de la formation d'un banc de sable qui interdit complètement le passage d'une des travées tournantes.

naison différents, et se croisant en un ou plusieurs points; 4° la ferme dite *isométrique*, où ces pièces ont des inclinaisons égales; 5° la ferme *Warren* ou *triangulaire*, où toutes les pièces principales sont également inclinées sans points de croisement.

La planche V donne, fig. 1 à fig. 16, les diagrammes de ces divers systèmes de fermes, réduites à leurs pièces essentielles.

Suivant le niveau auquel est placée la voie, les ponts de ces divers systèmes sont divisés en deux classes : 1° ponts à tablier supérieur *undergrade* ou *deck bridges;* 2° ponts à tablier inférieur *overgrade* ou *through bridges.*

Indépendamment de ces systèmes de fermes qui sont les plus usuels, on rencontre aussi quelques spécimens du type *bowstring*, et des ponts en arc, et l'on sait qu'une ligne de chemin de fer franchit au moyen d'un pont suspendu la chute du Niagara. Sur d'autres ponts suspendus de moindre importance, il existe une ou plusieurs lignes de tramways. Le grand pont suspendu en cours de construction sur l'East River à New-York doit également servir au passage d'une voie ferrée.

La disposition générale des fermes n'est pas le seul trait particulier aux ponts américains; ils se distinguent encore des ponts européens en ce qu'on observe généralement dans leur construction les règles suivantes :

1° Les travées sont toujours discontinues dans les ponts fixes.

2° Les fermes, disposées de manière à concentrer les efforts sur un petit nombre de lignes d'action et dans le sens de la longueur des pièces, forment des systèmes articulés qui permettent de calculer ces efforts par la règle du parallélogramme des forces.

3° Les assemblages des pièces soumises à des efforts de tension, soit entre elles, soit avec les pièces comprimées, se font sans rivures, au moyen de boulons formant axes d'articulation (*pin connections*).

Conditions de charge.

Les surcharges sur lesquelles on se règle pour le calcul des pièces métalliques varient avec les portées et avec la composition des trains appelés à circuler sur chaque ligne. On aura une idée des surcharges occasionnées par cette composition variable par le tableau suivant que nous empruntons à une brochure publiée par la société de construction Clarke, Reeves et C° en 1876.

WAGONS.

DÉSIGNATION DES VOITURES.	POIDS des voitures chargées.	LONGUEUR extérieure des voitures.	POIDS uniformément réparti par mètre courant.
	kilogr.	m.	kilogr.
Wagons de voyageurs ordinaires........	26,000	19,50	1320
Wagons Pullman....................	32,500	22,90	1420
Wagons fermés pour marchandises.......	19,000	9,50	2000
Grands wagons à charbon de Pennsylvanie.	18,000	6,70	2700

MACHINES.

DÉSIGNATION des MACHINES.	POIDS sur les roues motrices.	LONGUEUR de base.	POIDS par mètre cour^t de long^r de base.	POIDS TOTAL avec tender garni.	LONGUEUR TOTALE extérieure.	Poids uniform^t réparti par mètre courant sur la longueur totale occupée.
Machines ordinaires :	kilogr.	mèt.	kilogr.	kilogr.	mèt.	kilogr.
Du Pennsylvania R.R., pour voyageurs, à 4 roues motrices......	20,600	2,45	5,780	57,000	16,30	3500
Du Philadelphia et Reading R.R. pour trains mixtes............	18,800	1,98	9,500	52,250	13,90	3800
Pour marchandises et charbon, à 6 roues couplées	32,660	3,70	8,900	58,000	16,30	3560
Du Delaware et Lackawanna R.R., à 6 roues..................	32,400	3,70	8,870	63,000	16,50	3800
Plus fortes machines du New-York Central R.R., à 6 roues..	29,500	4,72	6,250	54,400	13,70	3970
Machines pour fortes rampes :						
Du Baltimore et Ohio R.R., à 8 roues.....................	38,100	3,80	10,000	58,000	16,20	3600
Du Pennsylvania R.R.........	36,300	6,72	5,400	63,500	16,50	3900
Du Philadelphia et Reading R.R., à 10 roues..................	37,300	4,80	7,800	60,000	16,50	3640
Machines-tender, les plus fortes de la même ligne, à 12 roues.....	46,300	6,00	7,750	46,270	11,00	4200
Tenders.						
Les plus légers, à 8 roues......	7,500	1,37	5,450	15,000	6,10	450
Les plus lourds.	11,340	1,37	8,300	22,700	6,10	3700

Des machines notablement plus fortes que celles qui figurent au présent tab leau sont employées sur certaines lignes, ainsi que nous le verrons plus loin.

Répartition des charges. — Les points d'articulation des montants et tirants sur les semelles divisent chaque ferme en un certain nombre d'intervalles d'égale longueur, aux extrémités de chacun desquels agissent les poids transmis par les entretoises qui supportent la charge roulante par l'intermédiaire des longrines. C'est à cet intervalle, considéré comme unité et désigné sous le nom de panneau (*panel*) dont la longueur, déterminée par celle des longrines du tablier, varie ordinairement de 9 à 20 pieds, soit de $2^m,70$ à $6^m,00$, que l'on rapporte tout d'abord la charge roulante. En prenant la plus grande somme de composantes que puissent fournir en un point d'articulation les poids des locomotives d'après les positions que leurs roues sont susceptibles d'occuper par rapport à ce point, et répartissant cette somme sur la longueur d'un panneau, on obtient la charge maxima par unité de longueur de panneau (*panel load*).

En combinant ensuite un certain nombre de locomotives (deux en général) avec un nombre de wagons suffisant pour couvrir toute la longueur d'une travée, on obtient la charge maxima à appliquer par unité de longueur pour toute la travée (*general load*)[1].

Calcul des efforts maxima. — C'est en prenant cette charge uniformément répartie pour base que l'on calcule habituellement les sections des semelles à partir des portées dépassant la longueur totale occupée par deux locomotives suivies de leur tender, soit 33 mètres. Au-dessous, on tient compte de la concentration des charges sur les roues et des positions de celles-ci sur la longueur de la travée. Les moments fléchissants qui servent à la détermination des efforts dans les semelles, sont obtenus soit en posant une série d'équations, soit par les procédés de la statique graphique.

Les efforts maxima dans les pièces de l'âme, verticales ou inclinées, se déduisent en chaque point de la considération des efforts tranchants dûs à la charge permanente, et de ceux que l'on obtient en supposant la charge roulante s'etendant sur le plus grand des in-

1. La Compagnie de construction Keystone bridge C° suppose réalisée l'hypothèse la plus défavorable, qui correspond au passage de deux locomotives intercalées au milieu d'un train. Dans ce cas, pour un point quelconque de la travée, on peut démontrer que si f est la longueur occupée par les locomotives dont le poids est supposé réparti uniformément, d la distance du point considéré à l'origine, l la portée, l'effort maximum dû à la surcharge des locomotives se réalise quand l'origine de la surcharge est à une distance x de l'origine de la travée déterminée par l'équation :

$$x = d\left(1 - \frac{f}{l}\right).$$

tervalles entre lesquels le point dont il s'agit divise la travée. Lorsque la charge occupe l'autre intervalle, elle a pour effet de diminuer en tous les points de cet intervalle l'effort tranchant : celui-ci peut à partir d'un certain point de la travée devenir négatif.

Il s'ensuit que pour un certain nombre de pièces de l'âme les efforts changent de sens.

Lorsqu'elles ne sont pas susceptibles de se prêter à ce changement, il est nécessaire de leur adjoindre d'autres pièces disposées de manière à résister aux efforts en sens contraire.

Ces pièces, désignées sous le nom de *counter ties* ou *counter braces*, contre-tirants ou contre-fiches, suivant qu'elles sont destinées à travailler à la tension ou à la compression, sont habituellement inclinées en sens contraire des pièces qu'elles suppléent. On peut d'ailleurs les remplacer par des pièces développant des efforts opposés dans la direction des pièces inclinées elles-mêmes « *ties* » ou *braces*, tirants ou arbalétriers.

L'usage se répand de plus en plus aujourd'hui de construire ces dernières pièces de telle sorte qu'elles puissent indifféremment résister aux deux efforts contraires, ce qui en évite la multiplicité et dispense d'en effectuer le réglage, qui est toujours une opération délicate et dont les variations de température suffisent pour compromettre l'efficacité.

La fraction de la longueur de la portée sur laquelle les contre-fiches ou contre-tirants qui occupent la partie centrale de la ferme sont nécessaires, varie entre un cinquième et un tiers lorsque le rapport de la charge roulante à la charge permanente varie de 1 à 3[1].

Le plus souvent, pour tenir compte dans l'évaluation des efforts auxquels doivent résister les pièces verticales ou inclinées de l'âme, du surcroît de charge répondant au passage des locomotives, on augmente l'effort tranchant en chaque point d'articulation, tel qu'il résulte de la répartition uniforme des charges sur chacun des intervalles qu'il sépare, de l'excédant que présente, sur le poids général uniformément réparti, le poids maximum par unité de longueur de panneau, appliqué au nombre de panneaux occupés par les machines.

---

1. Si l'on désigne par p et p' les poids de la charge permanente et de la surcharge par mètre courant, et par a la portée, la distance x de l'origine à laquelle les efforts tranchants peuvent changer de signe est donnée en général par la formule :

$$x=\frac{ap}{p'}\left(\sqrt{1+\frac{p'}{p}}-1\right).$$

De plus, pour faire la part de l'action brusque des charges roulantes sur les diverses pièces des fermes, et en particulier sur les pièces de l'âme, on affecte les efforts tranchants dûs à la charge roulante d'un certain coëfficient que l'on fait varier avec la portée. On admet d'après Rankine, que sur les très petites portées, une action brusque produit un effet double de celui qui serait dû à une action graduelle, et que ce coëfficient doit diminuer progressivement à mesure que la portée augmente. Dans quelle proportion? — il n'y a pas de règle précise à cet égard.

Pour les ponts de la ligne du Cincinnati Southern, le cahier des charges prescrit une majoration de 30 pour 100 pour les efforts produits par la charge roulante dans les longrines, entretoises, arbalétriers, tirants, contre-tirants. Certains constructeurs ont une échelle de variation suivant les portées.

Les calculs de résistance dont nous venons d'exposer les principes se simplifient pour les fermes Fink et Bollman, les efforts maxima étant uniformes sur toute la longueur de la semelle supérieure et correspondant dans toutes les pièces à une charge roulante couvrant toute la longueur du tablier.

Le tableau suivant indique, d'après les brochures publiées par l'usine de Phénixville et par la Compagnie de construction Keystone bridge Cy, le poids uniformément réparti par mètre courant de voie applicable aux différentes longueurs de travées.

USINE DE PHÉNIXVILLE.		KEYSTONE BRIDGE Cy.	
OUVERTURES en mètres.	CHARGE roulante par m. courant de voie unique.	OUVERTURES en mètres.	CHARGE roulante par m. courant de voie unique.
Au-dessous de 4 mètres.	7500k	Au-dessous de 3 mètres.	9000k
4,00 à 5,00	6000	3,00 à 4,60	8000
5,00 à 7,60	5250	4,60 à 6,00	7500
7,60 à 25,00	4500	6,00 à 7,60	5200
25,00 à 30,00	3750	7,60 à 12,20	4460
30,00 à 38,00	3650	12,20 à 30,50	4320
38,00 à 46,00	3400	30,50 à 46,00	4200
46,00 à 53,00	3300	46,00 à 61,00	4160
53,00 à 61,00	3200	61,00 à 76,00	4100
61,00 à 69,00	3100	76,00 à 91,00	4000
69,00 à 76,00	3050	91,00 à 107,00	3900
76,00 à 91,00	3030	Au-dessus de 107 mètres.	3700
91,00 à 107,00	3000		
107,00 à 122,00	3000		

Les charges roulantes admises par la Keystone Bridge C^y, notablement supérieures à celles que suppose la Compagnie de Phénixville, tiennent compte de l'augmentation du poids des machines dans ces dernières années[1].

Il est à remarquer que les premières lignes de ces tableaux, applicables aux portées entre lesquelles varie ordinairement la longueur de panneau, donnent le poids uniformément réparti par mètre courant de longueur de panneau devant servir de base au calcul des pièces autres que les semelles, pour tenir compte de l'excédant de poids des locomotives.

Pour définir les surcharges à supporter par les ponts, dans les marchés passés avec les constructeurs, certaines compagnies de chemins de fer annexent au cahier des charges de l'entreprise un diagramme indiquant la composition des trains qui répondent aux plus grandes surcharges, et pour les machines et leurs tenders, la répartition des poids par essieu ainsi que la distance entre les essieux.

La fig. 20, pl. V, donne ce diagramme pour la ligne du Cincinnati-Southern. Il suppose deux machines pesant chacune avec leur tender 66 tonnes suivies de wagons produisant une surcharge de 3 tonnes par mètre courant.

Le diagramme type admis par le Comité chargé, en 1875, de faire

1. Dans le projet de loi qui a été présenté récemment à la législature de l'État d'Ohio pour règlementer dans l'intérêt de la sécurité publique la construction des ponts de chemins de fer, les charges adoptées par mètre courant de voie sont encore plus élevées; elles sont indiquées par le tableau suivant :

OUVERTURES en mètres.	CHARGE roulante par mètre courant.	OUVERTURES en mètres.	CHARGE roulante par mètre courant.
Au-dessous de 2^m,30	13,400^k	15,30 à 22,90	4760^k
2,30 à 3,00	11,200	22,90 à 30,50	4610
3,00 à 3,80	9,970	30,50 à 45,70	4460
3,80 à 4,60	8,930	45,70 à 61,00	4320
4,60 à 6.10	7,440	61,00 à 91,50	4170
6,10 à 9,20	6,400	91,50 à 121,90	4020
9,20 à 12,20	5,500	121,90 à 152,40	3720
12,20 à 15,30	4,910		

Ces charges roulantes sont toutes supérieures à celles indiquées par la circulaire ministérielle du 9 juillet 1877 relative aux surcharges d'épreuve à admettre pour les ponts de chemins de fer en France eu égard à l'ouverture des travées.

un rapport à la Société américaine des ingénieurs civils sur les moyens de prévenir les accidents des ponts, est reproduit fig. 21, pl. V.

La surcharge par mètre courant pour les wagons est encore de 3 tonnes; les machines, du type *Consolidation*, pèsent 75 tonnes avec leur tender.

Action du vent. — L'action du vent, dont il y a lieu de tenir compte dans le calcul des pièces du contreventement transversal et des semelles médianes des fermes, est évaluée différemment, suivant qu'il s'agit du maximum d'action du vent compatible avec la circulation des trains, ou du maximum absolu de cette action, susceptible de s'appliquer seulement à la construction.

La pression du vent dans le premier cas est généralement évaluée par mètre carré à un chiffre qui varie de 120 à 150 kilogrammes. Cette pression, que l'on applique à la fois à la surface latérale des fermes et à celle des wagons dont la hauteur atteint 3 mètres dans le cas des wagons Pullman, correspond à une vitesse de vent de 35 mètres par seconde, qui est celle d'une forte bourrasque.

La pression maxima absolue du vent, dans le programme du concours ouvert récemment pour l'établissement d'un nouveau pont sur l'East River à New-York, a été évaluée à 200 kilogrammes par mètre carré. Dans la vallée du Mississipi où l'on a à redouter des ouragans d'une extrême violence (*tornados*), on a porté ce chiffre à 244 kilogrammes pour le grand pont de Saint-Louis : ce chiffre a été également adopté pour le nouveau pont construit sur l'Ohio à Cincinnati, par la Compagnie du Cincinnati-Southern[1].

Construction des différentes pièces entrant dans la composition des fermes.

Pièces travaillant à la tension. — Les pièces métalliques des fermes ont reçu des formes spécialement appropriées à la nature des efforts qu'elles ont à supporter.

---

1. Il est plusieurs fois arrivé que des travées de pont ont été précipitées en bas des piles et culées par des ouragans. Le 25 août 1877, deux travées situées à l'extrémité du pont d'Omaha, sur le Missouri (Union Pacific R.R.), ont été ainsi renversées. En 1876, un accident semblable était survenu à un pont de 55 mètres de portée sur le Tennessee.

M. Winkler évalue à 440 kilogr., dans le premier cas, à 500 kilogr., dans le second, la pression par mètre carré qui a dû être exercée par le vent pour renverser les travées. (Steiner, *Rapport sur la construction des ponts aux États-Unis*; Vienne, 1877).

Les pièces, soumises aux efforts de tension, dont la réunion forme la semelle inférieure *lower-chord*, sont disposées comme les mailles d'une chaîne Galle et constituées par des barres de fer plat à œil, montées sur des files parallèles, et assemblées les unes aux autres au moyen de boulons transversaux.

Les pièces inclinées de l'âme travaillant à la tension sont des barres de fer plat ou rond; elles sont habituellement assemblées sur les boulons d'articulation, dans le premier cas, avec des œils, dans le second, avec des boucles. Des tendeurs à vis servent à régler la tension dans la partie centrale de l'âme de la ferme où elle est le plus sujette à varier. Quand les barres inclinées sont trop longues pour être formées d'une seule pièce, on les compose de deux barres assemblées au moyen de courts maillons (*links*) (fig. 19, 20, pl. IX).

On a fini par remplacer généralement par un œil passant sur un boulon d'articulation la partie filetée, assujettie au moyen d'un écrou contre la semelle supérieure, qui formait dans les premiers ponts métalliques l'extrémité supérieure de toutes les barres inclinées. Ce système d'assemblage, emprunté à la ferme en bois de petite portée du système Pratt, n'a plus de raison d'être dans les fermes entièrement métalliques de grande portée où le serrage des écrous serait impraticable, et où l'articulation, tout en se prêtant mieux aux mouvements de la ferme, présente plus de garanties de résistance.

Pièces travaillant à la compression. — Les pièces devant travailler à la compression ont des formes beaucoup plus variées; à l'origine, elles étaient uniquement exécutées en fonte avec une section, polygonale à l'extérieur, circulaire à l'intérieur, et s'assemblaient bout à bout pour former la semelle supérieure. Ces pièces se terminaient à cet effet par des manchons de forme carrée destinés à accroître la face de contact et à faciliter l'assemblage avec des montants verticaux de même forme; les tirants et contre-tirants étaient portés par ces manchons, qui presentaient, dans ce but, sur leurs faces supérieures, des repos inclinés supportant les écrous qui servaient à les fixer; il n'existait de boulons à articulation que sur la semelle inférieure.

Plus tard, les montants verticaux ou inclinés travaillant à la compression ont été construits en tôle rivée, ainsi que les semelles supérieures, suivant des types qui varient d'une usine à l'autre.

L'usine de Phénixville (Pennsylvanie) a adopté (fig. 22 à 27, pl. V)

la colonne formée par la réunion d'un certain nombre de segments circulaires assemblés par des brides rivées; les tronçons de colonnes formant la semelle supérieure viennent se joindre bout à bout en s'engageant dans des manchons en fonte, à l'intérieur desquels pénètre par dessous la colonne de même forme qui constitue le montant vertical. Cette dernière colonne repose sur une embase que traverse le boulon d'assemblage des pièces de la semelle inférieure. Le manchon d'assemblage des semelles supérieures porte de son côté le boulon sur lequel s'articulent les tirants inclinés. Toutes les colonnes, pour plus de facilité dans l'assemblage, ont généralement une section extérieure constante et une épaisseur variable suivant les efforts à supporter.

On reproche aux colonnes de Phénixville, dont le profil est d'ailleurs avantageux au point de vue de la résistance à l'écrasement par flexion, de se prêter difficilement au peinturage intérieur et de conduire à une longueur exagérée pour les boulons d'articulation, par suite de la nécessité où l'on est de placer à l'extérieur de la colonne les points d'attache de toutes les barres horizontales ou inclinées. Au pont d'Albany sur l'Hudson, ces boulons atteignent jusqu'à $1^{m},50$ de longueur.

La Compagnie de construction Keystone Bridge C^{y}, dont l'usine principale est à Pittsburg, fabrique pour les pièces comprimées des colonnes en fer laminé de section polygonale, formées de segments rectilignes, assemblés par des brides sans écartement ou avec un écartement variable, obtenu au moyen de rivets allongés qui maintiennent en place des manchons (fig. 33 à 36 et 38 à 41, pl. V).

La forme polygonale donnée à la surface des colonnes paraît avoir été principalement motivée par le brevet qui attribue à la Compagnie de Phénixville la fabrication exclusive des colonnes à segments circulaires. Quant à l'écartement des brides, il a surtout pour objet de faciliter le peinturage à l'intérieur, ainsi que le passage des barres inclinées de l'âme. Cette disposition permet, en outre, de donner aux pièces comprimées un certain renflement au milieu de leur longueur. Les colonnes verticales viennent s'emboîter en haut et en bas dans des manchons en fonte; ceux du haut sont boulonnés aux plates-bandes des poutres qui forment la semelle supérieure; ceux du bas, disposés en forme de chapes, reçoivent les boulons d'assemblage des semelles inférieures.

L'un et l'autre système de manchons sont disposés de manière à

contenir à l'intérieur les extrémités des barres inclinées; on peut ainsi raccourcir les boulons d'articulation, dont la longueur, d'après certains cahiers des charges, ne doit pas excéder la plus grande largeur des montants verticaux de plus de deux fois le diamètre des boulons d'articulation. Une disposition analogue est maintenant appliquée aux colonnes de Phénixville et remédie à l'inconvénient signalé plus haut.

La Compagnie de Keystone exécute aussi des colonnes sans rivures composées de quatre segments circulaires dont les brides sont embrassées par des couvre-joints entaillés à l'intérieur en queue d'hironde (*Piper's patent*) (fig. 37, pl. V).

Ce système qui offre moins de garanties de solidité que celui que nous venons de décrire est moins répandu.

Un autre constructeur, Kellog, de Buffalo, a pris un brevet pour des profils de colonnes (fig. 30 et 31, pl. V) qui offrent sur les précédents un certain avantage au point de vue de la répartition de la matière et de la facilité d'assemblage avec les semelles.

Nous signalerons encore la section adoptée par la Baltimore Bridge C^y, pour les semelles supérieures, où la résistance à la flexion dans le sens de la hauteur est accrue par l'addition, au profil de la colonne de Phénixville, de fers plats ou de fers à T suivant les cas. Ce double T sert dans les ponts à tablier supérieur à supporter les entretoises de la voie, dont on peut alors réduire l'espacement (fig. 32, pl. V).

La même Compagnie donne en outre aux manchons d'assemblage des semelles supérieures une section plus grande, de manière à loger à l'intérieur les extrémités de toutes les pièces articulées faisant partie de l'âme. Ces manchons présentent dans ce but des renforts soulageant la portée des boulons d'articulation.

Aujourd'hui, la tendance générale est à l'emploi des fers à T ou en U réunis par des plates-bandes, qui se prêtent beaucoup mieux à l'assemblage direct, soit avec les boulons d'articulation, soit avec les pièces placées dans des directions perpendiculaires. Les fig. 28 et 29, pl. V, donnent les combinaisons de fers spéciaux les plus usitées.

Les plates-bandes des montants verticaux et celles des semelles supérieures, renforcées les unes et les autres par des fourrures en fer plat, de manière à tenir compte de la diminution de section produite par le passage des boulons d'articulation, sont simplement

percées pour laisser passer ces boulons. Les boulons inférieurs d'articulation passent également dans des œils ménagés à travers le pied des montants verticaux. Telle est la disposition généralement adoptée aujourd'hui par l'American Bridge Company.

Les fig. 15 à 20, pl. X, représentent un type employé par la Delaware Bridge Cy dans lequel l'emploi de montants, constitués par des fers en U, a conduit à un système d'assemblage, où la semelle supérieure et les extrémités des fers en U des montants sont également renforcées au droit des boulons d'articulation, en même temps qu'elles sont fixées de manière à ne pouvoir se déplacer latéralement.

Parfois aussi, on se contente de faire reposer les abouts des montants verticaux disposés en forme de caissons contre les deux systèmes de semelles.

Les œils des barres de la semelle inférieure sont alors équarris sur leur pourtour.

Cette disposition, que l'on rencontre dans le grand pont sur l'Ohio du Cincinnati Southern (pl. IX), évite complètement l'emploi de manchons d'assemblage en fonte; ce métal n'est plus employé que sous forme de rondelles destinées à maintenir l'écartement des barres à œil sur les boulons d'articulation.

Le plus grand nombre des constructeurs admettent que la suppression des articulations entre les montants verticaux et les deux cours de semelles est sans inconvénient pratique.

Comme il y a en outre avantage, au point de vue des efforts qui peuvent se développer dans les pièces chargées debout, à remplacer les articulations des extrémités par des faces de contact planes, la préférence est pour eux acquise aux fermes à montants verticaux, d'un montage beaucoup plus commode que les fermes à arbalétriers inclinés.

Il y a cependant lieu de remarquer que la flexion de la semelle supérieure sous l'action des charges, empêche l'hypothèse de plein contact de cette pièce avec les poteaux verticaux de se réaliser, et que l'égale répartition des efforts entre les barres de la semelle inférieure est loin d'être garantie par la disposition qui consiste à leur faire supporter directement ces poteaux.

Enfin, pour alléger les montants verticaux ou inclinés résistant à la compression, et en rendre la visite et le peinturage plus faciles dans toutes leurs parties, on remplace le plus souvent par des treillis un ou deux des côtés des caissons qui les constituent.

Cette disposition est également adoptée pour les pièces destinées à travailler à la tension et à la compression alternativement; on compose aussi souvent celles-ci de deux lames de tôle parallèles réunies par des boulons tenus d'écartement par des manchons.

En définitive, toutes les pièces appelées à travailler à la compression se font aujourd'hui en tôle rivée, et les rivures exécutées à l'usine ont seulement besoin d'être complétées sur place par la rivure ou le boulonnage d'un certain nombre d'assemblages et par la pose des boulons d'articulation servant à assembler les pièces inclinées et les barres des semelles inférieures.

Suspension du tablier. — Plusieurs systèmes sont employés pour relier le tablier supportant la voie aux fermes.

Quand le tablier est supérieur et que les semelles sont formées de colonnes à section polygonale ou circulaire, le manchon d'assemblage de ces pièces est surmonté d'un patin où s'emboîtent les extrémités des entre-toises, qui sont ordinairement des fers à double T.

Quand les semelles supérieures sont en forme de caissons, ces entretoises sont boulonnées sur la face supérieure de ces caissons. Dans les deux cas, elles portent plusieurs cours de longrines en bois ou en fer à double T, sur lesquelles reposent les traverses de la voie (fig. 11 et 12, pl. XVII).

Lorsque les portées des entretoises sont trop considérables eu égard à leur section, ce qui arrive, par exemple, pour les ponts à deux voies, on les arme parfois en plaçant dessous un ou deux poinçons soutenus à leurs extrémités par des tirants (fig. 3, pl. XII).

Dans les ponts à tablier inférieur, les entretoises sont habituellement suspendues à chaque extrémité par un ou deux étriers embrassant le boulon d'articulation et dont les branches pénètrent dans les plates bandes des fers à T des entretoises (fig. 27 et 28, pl. IX).

Les inconvénients de ce mode de suspension du tablier, qui favorise les vibrations longitudinales et transversales, et où il suffit d'un écrou mal serré pour faire redouter un accident au passage des charges roulantes, qui viennent peser brusquement d'une manière presque directe sur cet écrou, sont aujourd'hui reconnus par plusieurs ingénieurs américains; on les évite, soit en faisant porter les entretoises par les montants verticaux un peu au-dessus des semelles inférieures, soit en intercalant, entre les files de barres

parallèles, des fers à T servant à supporter les entretoises, dont on peut alors diminuer l'espacement.

Ainsi que nous l'avons déjà constaté pour les ponts en charpente, le tablier des ponts métalliques est habituellement laissé à jour, afin de diminuer les chances d'incendie et d'éviter la surcharge résultant de l'accumulation de la neige, et il n'est pas muni de garde-corps.

Par suite de cette simplification, la largeur du tablier, limité de chaque côté de la voie par de simples garde-rails, se réduit à 3 mètres environ pour les ponts à tablier supérieur et à une voie; pour les ponts à tablier inférieur, la largeur entre les fermes varie entre 4 mètres et 4^{m},50 dans le même cas; elle atteint 8 mètres dans le cas de deux voies.

La hauteur libre ménagée au-dessus des rails est généralement plus grande qu'en Europe; on la porte à 6^{m},40 et 7 mètres pour permettre la circulation des garde-freins au-dessus des wagons de marchandises; à l'intérieur des villes certaines sujétions forcent parfois de réduire la hauteur libre à 5^{m}, 19. Ce cas est celui de certains ponts établis par dessus la voie sur le Baltimore et Ohio R.R. Sur d'autres lignes, la hauteur libre minima est fixée à 18 pieds (5^{m},49).

Contreventement. — Le contreventement des fermes est généralement réalisé au moyen des entretoises supportant le tablier et de croix de Saint-André dont les bras sont fixés à leurs extrémités par des goussets que portent les entretoises ou les semelles.

La Compagnie de Keystone, pour pouvoir placer les pièces du contreventement supérieur au droit de l'âme des semelles en caissons, a adopté pour les entretoises supérieures des tubes en fer creux s'assemblant directement sur les têtes des boulons d'articulation et dans leur prolongement; sur ces mêmes têtes sont alors fixées des armatures pour l'attache des tirants en diagonale (fig. 38 à 41, pl. V).

Le contreventement est la partie faible des ponts américains. Outre que les pièces qui le composent sont généralement de moindre section qu'en Europe, l'indépendance relative des barres qui forment la semelle inférieure, reliées seulement à leurs extrémités par les boulons d'articulation, auxquels on a vu précédemment que les entretoises sont suspendues, au lieu d'être reliées invariablement aux fermes comme dans les ponts européens, contribue

avec cette suspension à rendre la rigidité transversale insuffisante dans les ponts à tablier inférieur.

Ce fait n'est pas moins sensible dans les ponts à tablier supérieur où les semelles inférieures s'arrêtent le plus souvent à la rencontre des tirants inclinés extrêmes descendant des points d'appui; il en résulte que l'action du vent, en s'exerçant normalement sur une face du pont, tend à y provoquer un mouvement de torsion[1].

L'insuffisance du contreventement dans un pays où les ouragans sont fréquents et d'une extrême violence peut servir à expliquer les catastrophes survenues à certains ponts.

Dispositions prises pour combattre l'effet des variations de température. — Une attention beaucoup plus grande a été apportée à tenir compte des effets produits par les variations de température. Pour que les fermes puissent obéir librement à ces variations qui peuvent atteindre jusqu'à 90° centigrades, on a soin de les faire supporter à leurs extrémités par des galets de dilatation de diverses formes, auxquels on substitue parfois des secteurs oscillants. Cette disposition a été adoptée principalement pour les fermes du système Fink (fig. 3, pl. VII).

Comme, dans les fermes à semelles parallèles, on est maintenant dans l'habitude de substituer par économie des arbalétriers inclinés aux montants verticaux extrêmes, ce système de supports est ordinairement complété par une articulation formant genou au pied de l'arbalétrier, qui peut ainsi prendre une inclinaison variable, quand la ferme tend à se déformer au passage des charges roulantes, ou par l'effet de l'inégal échauffement de ses diverses parties (fig. 2 et 7, pl. IX, fig. 2 et 13, pl. X).

Limite des efforts admis pour les diverses pièces.

Les limites admises pour les divers efforts varient suivant la nature des efforts et sont en outre définies de diverses manières. Ces

1. On constate un effet de ce genre sur le grand pont de Parkersburg sur l'Ohio, à tablier supérieur.

Il existe dans ce pont un triple système de contreventement : des croix de Saint-André règnent à la fois dans les plans horizontaux des âmes des deux semelles et dans des plans verticaux perpendiculaires à ces axes. Les extrémités des semelles inférieures, interrompues avant d'atteindre les culées, y ont été reliées par des tirants obliques formant croix de Saint-André. La flexion de ces tirants, constitués par des barres, montre qu'elles ont été insuffisantes pour combattre les oscillations transversales.

limites sont de plus différentes, suivant qu'il s'agit d'efforts brusques ou progressifs.

Efforts de tension. — La limite le plus généralement adoptée pour les efforts de tension dans les semelles inférieures et les tirant inclinés voisins des culées, qui subissent progressivement l'action des charges, est de 10,000 livres par pouce carré, soit de $7^k,03$ par millimètre carré pour le fer; cette limite correspond à peu près à la moitié de l'effort limite d'élasticité.

Les barres à œil étant les pièces essentielles du système articulé ont été l'objet d'une étude toute particulière de la part des ingénieurs américains. L'expérience leur a démontré la nécessité d'observer une certaine proportion entre le diamètre de l'œil et la largeur du corps de la barre, et de faire varier l'épaisseur de la boucle autour de l'œil, pour tenir compte de l'altération produite dans la résistance du métal par le forgeage de cette partie de la barre.

Un des ingénieurs qui se sont le plus occupés de cette question M. C. Shaler Smith, est arrivé à cette conclusion, qu'il faut donner à l'œil un diamètre au moins égal aux deux tiers de la largeur de la barre pour utiliser la pleine résistance de celle-ci, et que la section de la barre au travers de l'œil, quelle que soit sa largeur, doit croître avec le diamètre de l'œil; qu'en outre, suivant que l'œil est obtenu par refoulement ou par soudure, la boucle derrière l'œil doit être de forme circulaire ou oblongue, une surépaisseur de 50 pour 100 étant, dans ce dernier cas, nécessaire dans le prolongement de l'axe de la barre.

Les ingénieurs américains sont d'ailleurs partagés sur le meilleur mode de fabrication des barres à œil; les uns, craignant l'imperfection de la soudure, donnent la préférence à la fabrication de la barre par le procédé du refoulement (*upsetting*), pour obtenir à son extrémité le renflement où se prend la boucle de l'œil; les autres, qui reprochent au refoulement de changer la structure dans les fibres du métal, violemment comprimées à froid en arrière de l'œil, obtiennent le renflement au moyen d'une masse rapportée et soudée (*welding*).

Dans l'usine de Phénixville et dans celle de la Compagnie de Keystone à Pittsburg, où l'on procède par refoulement, on remédie aux inconvénients de cette opération, soit en exécutant le refoulement et le percement de l'œil du même coup au marteau pilon sur

le métal porté au rouge blanc, soit en le réchauffant après que le refoulement a été produit pour le reforger de nouveau et percer ensuite l'œil.

L'opération de la soudure pratiquée par quelques usines (Watson, à Paterson; Sellers, à Edgemoor) a été perfectionnée dans ces derniers temps de la manière suivante : on aplatit préalablement la barre à son extrémité, de manière à lui donner transversalement la forme d'un coin, puis on y rapporte une masse de fer que l'on chauffe et forge avec la barre de manière à obtenir l'épaisseur du renflement. La soudure, passant ainsi en biais à travers l'œil, évite la distorsion des fibres que l'on reproche aux autres systèmes de soudure.

Ce procédé est recommandé par M. C. Mac Donald, président de la Delaware Bridge Company, qui a signalé en outre l'utilité de renforcer les barres, non-seulement derrière l'œil, mais encore sur la partie antérieure du renflement, pour tenir compte de l'altération de la résistance des fibres dans cette partie, et de porter la surépaisseur en ces points à 30 pour 100, en se contentant d'augmenter de 25 pour 100 l'épaisseur totale de la barre au droit de l'œil[1].

Pour les tirants en fer rond tenus à leurs extrémités par des écrous, on a toujours soin de prendre le filet de la vis en dehors du corps de la pièce : le refoulement au marteau pilon permet d'obtenir l'excédant de matière nécessaire à cet effet.

Pour les tirants, contre-tirants et étriers servant à la suspension des entretoises, la limite de 7 kilogrammes par milimètre carré est habituellement réduite de 1/4 environ pour tenir compte de la manière brusque dont agissent les charges sur ces pièces.

Au lieu de prendre pour point de départ la limite d'élasticité du métal, certains constructeurs se règlent sur l'effort limite de rup-

---

1. M. Mac Donald a été conduit à donner à l'extrémité de la barre la forme représentée par la figure 14, planche XXIII, à la suite d'épreuves faites sur un certain nombre de barres soudées ayant à leur extrémité la forme représentée figure 15, planche XXIII; après rupture, l'extrémité des barres présentait le contour marqué par un trait pointillé, ce qui accusait l'insuffisance de l'épaisseur en GH.

Le même ingénieur calcule le diamètre du boulon d'articulation, qu'il assimile à une poutre d'une portée égale à l'épaisseur de la barre, sur laquelle la charge de cette barre est uniformément répartie, par la formule

$$D = 1,72\sqrt[3]{e^2 l}$$

e étant l'épaisseur, l la largeur de la barre plate. (Mémoire lu à la Société américaine des ingénieurs civils le 21 janvier 1874.)

ture auquel on applique un coefficient de réduction, dit de sécurité, variant habituellement entre 1/5 et un 1/8. L'effort limite de rupture étant, eu égard à la bonne qualité du fer employé pour les constructions de ponts, généralement évalué à 42 000 000 kilogrammes par mètre carré, l'effort maximum pratique de 7 kilogrammes par millimètre carré, indiqué précédemment pour le travail de tension, correspond à un coefficient de sécurité de 1/6.

Pour l'acier qui, en dehors des ponts suspendus, n'a jusqu'à présent été employé qu'à la construction du pont de Saint-Louis et pour les boulons d'articulation d'un certain nombre de ponts, on a été jusqu'à la limite de 16 kilogrammes pour les efforts de tension, en fixant à 29 kilogrammes par millimètre carré l'effort correspondant à la limite d'élasticité, et à 72 kilogrammes par millimètre carré l'effort limite de rupture par tension à réaliser dans les épreuves des pièces.

On sait qu'on admet aujourd'hui en Angleterre et en Hollande l'emploi de l'acier pour les constructions de chemins de fer, à la condition de ne pas dépasser des efforts de $10^{k},50$ par millimètre carré.

Les progrès accomplis dans la fabrication de l'acier ont permis, dans le cahier des charges pour la fourniture des câbles d'acier du pont suspendu sur la rivière de l'Est à New-York, de porter pour les fils, la limite de rupture à 115 kilogrammes par millimètre carré; le coefficient de sécurité adopté dans ce cas étant de 1/6. Aux épreuves faites en 1877, on a constaté, sur une partie des fournitures de fils, des résistances s'élevant jusqu'à 160 kilogrammes par millimètre carré.

Le cahier des charges précité stipule que l'effort limite d'élasticité devra atteindre 47 pour 100 de l'effort de rupture, et que l'allongement proportionnel à la charge devra correspondre à un module d'élasticité compris entre $10^{10} \times 1,9$ et $10^{10} \times 2,1$.

On a d'ailleurs reconnu en Amérique comme en Angleterre que ce module est beaucoup moins variable que celui du fer, la fusion en grandes masses ayant pour effet de donner à l'acier beaucoup d'homogénéité.

Pour le fer, les cahiers des charges astreignent le module à varier entre $10^{10} \times 1,8$ et $10^{10} \times 2,3$.

On stipule, en outre, que les fers devront avoir éprouvé une réduction de section d'au moins 25 pour 100 au moment de la rup-

ture, et un allongement d'au moins 15 pour 100 au même moment pour exclure les fers qui, bien que présentant un degré élevé de résistance à la rupture, seraient sujets à casser brusquement.

Efforts de compression. — Pour les pièces travaillant à la compression, on a employé d'abord la fonte, puis le fer laminé, et fait quelques essais avec l'acier.

Ces pièces qui ont souvent de grandes longueurs, sont dans les conditions des pièces chargées debout et sujettes à écrasement par flexion. Leur section est calculée à l'aide des formules de Rankine et de Gordon, qui se présentent sous les formes suivantes :

Formule de Rankine.

$$R = \frac{Af}{1 + K\frac{l^2}{r^2}}$$

Formule de Gordon.

$$R = \frac{Af}{1 + K'\frac{l^2}{h^2}}$$

Dans ces formules on désigne :

par R, l'effort de rupture que peut supporter la pièce ;

par A, sa section ;

par f, l'effort limite d'écrasement pour les colonnes de faible hauteur ;

par l, la longueur de la pièce ;

par r, le rayon de gyration minimum de la section ;

par h, le plus petit côté du rectangle plein ayant même surface et même moment d'inertie minimum que la section considérée.

K et K′ sont des coefficients dépendant de la nature du métal et liés par la relation $K' = 12K$.

A la valeur de R est appliqué un coefficient de sécurité variable suivant les cas ; le plus souvent il est pris égal à 1/5.

Nous donnons ci-dessous, d'après Trautwine, les valeurs adoptées le plus habituellement pour les quantités f et K′.

	BOIS.	FONTE.	FER.
K′....	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{266}$	$\frac{1}{3000}$
f.....	$10^6 \times 3,6$	$10^6 \times 56$	$10^6 \times 25$

La formule de Gordon donnée ci-dessus permet d'obtenir pour

chaque colonne une valeur limite de $\frac{R}{A}$. Pour les colonnes creuses de forme cylindrique dont on se sert pour les pièces comprimées, on se contente parfois dans les cahiers des charges de fixer une limite des efforts de compression pour un certain nombre de longueurs maxima évaluées en diamètres extérieurs de colonnes.

C'est ainsi qu'à l'usine de Phénixville, on admet par millimètre carré la limite de 6 à 7 kilogrammes pour les colonnes en fer, longues de 12 à 15 fois leur diamètre, et une limite de [illegible] à 4 kilogrammes pour les colonnes dont le diamètre est contenu de 20 à 40 fois dans leur longueur.

Les valeurs des coefficients K et K′, indiquées pour les formules de Rankine et de Gordon, s'appliquent aux colonnes reposant sur leurs supports par des faces planes; elles doivent être quadruplées pour les colonnes s'appuyant sur des articulations à leurs deux extrémités.

Une série d'expériences faites à Edgemoor (Delaware) sur les colonnes de Phénixville a permis de vérifier les formules ci-dessus dans les deux cas, et de reconnaître en outre que la valeur de f à y introduire devait être prise un peu inférieure à la résistance à la rupture constatée sur des échantillons du même fer, sous forme de prismes très courts, et qu'elle variait sensiblement en passant d'une formule à l'autre; la formule de Rankine admettant généralement une valeur de f plus grande que la formule de Gordon, comme on devait s'y attendre.

Suivant une remarque de M. Shaler Smith, que nous avons déjà eu occasion de citer, il y aurait lieu, pour la détermination des efforts limites tant de tension que de compression à admettre dans les charpentes de ponts métalliques, de prendre en considération la fréquence de la répétition de ces efforts au passage de la charge roulante.

Dans la ferme du système Fink, par exemple, les tirants et les poinçons sont d'autant plus sujets à être soumis à l'effort limite qu'ils correspondent à des points de division d'un ordre plus élevé; il en est de même dans les fermes à tables parallèles pour les pièces de l'âme, à mesure qu'on se rapproche du centre. Ces pièces sont exposées à travailler à l'effort limite au passage de chaque locomotive, tandis que les autres pièces ne travaillent à la limite qu'au passage des trains les plus lourds. Aussi quelques construc-

teurs font-ils varier les efforts limites de tension et de compression en raison de la répétition de ces efforts.

Efforts de flexion. — Quant à la flexion, les seules pièces qui y soient ordinairement exposées dans le système de construction des ponts américains, sont les pièces du tablier, les entretoises et les longrines qui leur transmettent directement les charges. L'effort limite, admis dans ce cas, s'écarte peu de celui qui est admis en France; il est, en effet, de 7500 à 8000 livres par pouce carré, soit de $5^k,3$ à $5^k,6$ par millimètre carré, pour le fer, seul employé dans ce cas à l'exclusion de la fonte.

Efforts de cisaillement. — Pour le cisaillement, des expériences faites à Edgemoor sur des rivets ont conduit, comme en Europe, à admettre un effort limite égal à l'effort limite de flexion.

Les boulons d'articulation ont généralement une section supérieure à celle des barres articulées, et comme on leur donne un diamètre un peu plus grand que la demi-largeur des barres, on accroît l'épaisseur de celles-ci près des œils, de telle sorte que la pression par millimètre carré qui s'exerce sur la surface demi-cylindrique par laquelle elles portent sur les boulons ne dépasse pas l'effort de tension maximum dans les barres.

Il est, en outre, prescrit de disposer le plus symétriquement possible, de manière à réduire les efforts de flexion, les barres qui se réunissent sur les boulons d'articulation. Dans le même but, on a soin de placer les pièces verticales ou inclinées au droit de la partie centrale des boulons, et les files de barres de la semelle inférieure de part et d'autre. Les étriers de suspension des entretoises occupent une position, soit tout à fait centrale, quand il n'y en a qu'un, soit symétrique entre les barres horizontales et inclinées, quand il y en a plusieurs.

Le diamètre des boulons d'articulation est calculé en raison des moments fléchissants dus aux forces qui y sont appliquées, et, comme l'égale répartition des efforts entre toutes les files de barres parallèles qui viennent s'y articuler exige un parallélisme extrêmement exact de ces barres et des axes des boulons entre eux, les cahiers des charges prescrivent des limites très étroites de variation pour la longueur des barres et le jeu des boulons dans les œils; les longueurs, déterminées par les épures, doivent toujours être exactes à 0,4 de millimètre près, et l'on n'admet pas pour les boulons d'articulation de jeu de plus de 1/100 du diamètre de l'œil.

Malgré ces précautions, en vue desquelles des machines-outils spéciales, réglées d'une manière invariable pour chaque série de pièces identiques, sont installées pour recouper les barres et aléser les œils d'une manière uniforme, il n'est pas rare de constater une inégalité de tension très sensible dans les files parallèles des tirants articulés sur les mêmes boulons.

Pour les pièces d'acier soumises à la compression, qui ont été presque uniquement employées jusqu'ici au pont de Saint-Louis, on a admis un effort limite de 20 kilogrammes, correspondant, comme pour le fer, à la moitié de l'effort limite d'élasticité constaté. Dans l'usage qui commence à s'en répandre pour les boulons d'articulation, on limite aux 3/4 de l'effort limite de tension, soit à 12 kilogrammes par millimètre carré, le travail de ces pièces.

Épreuves, montage préparatoire et exécution à l'usine.

Deux sortes d'épreuves sont faites aux ateliers de construction de ponts : les premières s'appliquent à toutes les barres travaillant à la tension, qui feront partie de l'ouvrage, et que l'on soumet à des efforts variant entre une fois et demie et deux fois l'effort maximum devant résulter des charges.

Les barres doivent, en outre, supporter, pendant qu'elles sont soumises à ces efforts, le choc d'un marteau, sans éprouver d'altération permanente; on vérifie de plus en même temps, si les allongements élastiques sont conformes à ceux qui ont été expérimentés sur des échantillons types mentionnés dans les traités.

Une seconde série d'épreuves porte sur des fragments de barres, que l'on soumet à des efforts de tension et de compression poussés d'abord jusqu'à la limite d'élasticité, puis jusqu'à la limite de rupture, pour vérifier aussi bien leur résistance que la régularité de leur allongement et de leur contraction. Certains cahiers de charges prescrivent en outre d'éprouver à la rupture quelques barres à œil pour s'assurer que la rupture du corps de la barre précède celle de l'œil. Toutes ces épreuves sont généralement faites avec des presses hydrauliques, installées de manière à produire à volonté la contraction et l'allongement.

L'assemblage de toutes les pièces se fait ensuite à blanc pour éviter tout mécompte et tout arrêt dans le montage définitif.

Il a été accompli en ces dernières années de très grands progrès

dans la plupart des ateliers de construction par la substitution du travail des machines au travail manuel, opérée en vue d'économiser la main-d'œuvre et de perfectionner l'exécution des pièces métalliques.

L'introduction du rivetage à la presse hydraulique, combiné avec l'emploi de diverses machines-outils pour le traçage et le perçage des trous, ainsi que pour le coupage des fers, a contribué notablement à étendre l'usage des pièces rivées se rapprochant des formes usitées en Europe, et elle a permis aux nouveaux établissements de construction de se passer des colonnes tubulaires dont la fabrication était le privilège de quelques usines[1].

Les anciennes usines ont conservé leur réputation et leur clientèle en s'attachant à améliorer la qualité des fers. Cette amélioration a été surtout obtenue par le choix des minerais employés à la fabrication des fontes d'où elles les tirent, et en soumettant les fers à des laminages multipliés, qui en augmentent la ténacité, et qui, par le grand nombre de mises entrant dans la composition de chaque pièce, font qu'un défaut isolé ne peut avoir qu'une influence insignifiante sur cette composition.

Les usines montées pour fabriquer le fer de toutes pièces, qui entreprenaient seules à l'origine la construction des ponts métalliques à des prix d'autant plus bas qu'elles reproduisaient plus souvent les mêmes types, trouvent aujourd'hui des concurrents sérieux dans des sociétés de construction, ne faisant que les charpentes métalliques et recevant les fers des usines, ainsi que dans d'autres compagnies qui se chargent seulement de fournir les projets et de présider à l'exécution, pour laquelle elles traitent avec les usines. Ces dernières compagnies, dirigées par d'habiles ingénieurs, en modifiant les formes primitivement adoptées pour les pièces métalliques et en proportionnant d'une manière plus judicieuse les dimensions de ces pièces aux efforts à supporter, ont pu ainsi réaliser dans la construction des économies, que les autres sociétés de

1. Une des usines les mieux installées pour la construction des ponts métalliques, est celle de W. Sellers et Cie, à Edge-Moor (Delaware), où l'on emploie sur une grande échelle l'eau comprimée pour la transmission de la force motrice. Ce système de transmission est appliqué non-seulement au forgeage des œils des barres, mais encore à toutes les manipulations à opérer sur ces barres pour les porter soit aux laminoirs, soit aux machines à couper et à raboter, qui se font à l'aide de chariots roulants, ainsi qu'au rivetage des pièces métalliques.

construction, préoccupées surtout de maintenir l'uniformité de leurs types, étaient moins disposées à rechercher.

Ces progrès ont été notablement favorisés par la grande latitude accordée aux constructeurs par les Compagnies de chemins de fer pour l'établissement des projets. Au lieu de mettre en adjudication des projets complétement arrêtés dans tous leurs détails, ces compagnies se contentent de tracer un programme fixant les conditions de débouché et de hauteur des ouvrages, la composition des trains correspondant au maximum de charge, et les limites des efforts à faire supporter aux différentes pièces. Les constructeurs présentent des projets étudiés conformément à ce programme, et c'est celui qui demande le moindre prix à forfait pour l'exécution de son projet qui est déclaré adjudicataire.

Comme, pour obtenir une exécution plus rapide et plus économique, les Compagnies sont en outre dans l'usage de fractionner les entreprises, il arrive souvent que les travées d'un même pont, pour peu que le nombre en soit grand et la portée variable, sont exécutées par plusieurs entreprises distinctes, et que l'on rencontre ainsi, associés dans un même ouvrage, divers systèmes de fermes dont l'adoption a été déterminée dans chaque cas par la facilité plus grande que les différents constructeurs trouvaient à adapter leurs types courants à certaines portées.

On rencontre même parfois, dans un seul pont, des travées d'égale portée construites dans le même système de fermes avec des pièces de types différents. C'est ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, que le pont, récemment reconstruit sur la Susquehanna, près de son embouchure dans la baie de Chesapeake, pour le passage du chemin de fer de Philadelphia-Wilmington et Baltimore, présente une série de travées de $77^{m},80$ d'ouverture, construites, les unes par la compagnie de construction « Baltimore Bridge Company, » où les montants verticaux sont en forme de caissons de section rectangulaire, les autres, par l'usine de Phénixville, où ces mêmes montants sont constitués par des colonnes du type spécial de cette usine.

Après avoir indiqué, d'une manière générale, les procédés de construction en usage pour les ponts métalliques, nous allons en décrire les principales applications.

Petites portées.

Nous dirons seulement quelques mots des ponts métalliques de petite portée, qui se construisent comme en Europe avec des poutres en fers spéciaux ou des poutres rivées.

Les profils sont les mêmes, les longueurs des pièces sont seulement plus grandes. Certaines usines sont parvenues à atteindre des longueurs de 16 et 24 mètres, pour les fers à double T de 0^{m},25 et 0^{m},38 de hauteur, ainsi qu'on pouvait le voir, en 1876, à Philadelphie, à l'Exposition des Union Work's de Buffalo. Des fers plats de 9^{mm},5 d'épaisseur et de 1^{m},70 de largeur, avaient jusqu'à 7^{m},32 de longueur.

La longueur de 9 mètres est courante pour les cornières et les fers en U, et les colonnes du type de Phénixville ont, dans certains ponts, une longueur de 12 mètres.

Jusqu'à 6 mètres de portée, on se sert de fers à double T, placés côte à côte à l'aplomb des rails, ou assemblés avec des traverses de même forme portant les rails (fig. 21 à 24, pl. VII).

Au delà de cette portée, on a recours à la poutre rivée ou à des poutres en fers spéciaux supportées par un ou plusieurs poinçons.

Jusqu'à la portée de 9 mètres, l'usine de Phénixville emploie la poutre double T, supportée par un poinçon que forme une colonne de son système. Nous verrons plus loin ce type de poutre armée appliqué sur une grande échelle à la construction des viaducs.

La Compagnie de Keystone et l'American Bridge C^{y} emploient jusqu'à 18 mètres la poutre rivée pleine concurremment avec la poutre armée en fers spéciaux, soutenue par deux ou trois poinçons.

Sur la ligne du Cincinnati Southern, où il existe un certain nombre de ponts en tôle rivée, de 6 à 12 mètres de portée, on a payé en moyenne par mètre courant de voie unique, un prix de 425 francs pour ces ponts qui absorbent par mètre courant environ 800 kilogrammes de fer.

Certains ingénieurs, parmi lesquels nous citerons M. Mac Donald, donnent la préférence à la ferme en treillis à rivures sur les fermes à articulation, pour toutes les portées inférieures à 30^{m},50 100 pieds), à cause de sa plus grande rigidité et de l'avantage qu'elle offre de ne pas nécessiter de réglage lors de sa mise en place. Ils remédient aux efforts de flexion, qui tendent à se produire dans

les semelles par suite du défaut de coïncidence des points d'insertion des pièces de l'âme qui convergent à l'extrémité de chaque panneau, au moyen de larges plaques d'assemblage, qui facilitent la répartition des efforts transmis par ces pièces aux semelles.

Pour les ponts de petite portée à tablier inférieur, dont les fermes, à cause de leur faible hauteur, ne peuvent être reliées par un contreventement supérieur, on emploie fréquemment un système de consolidation consistant en un étai extérieur, réunissant le sommet de chaque montant vertical aux extrémités des entretoises prolongées; cette disposition est connue sous le nom de *pony truss* (fig. 18, 19, 20, pl. VII).

Grandes portées.

SYSTÈME FINK.

La ferme du système Fink dérive comme nous l'avons vu plus haut, de la poutre armée ordinaire, qui est divisée en deux, quatre, huit, seize intervalles, entre lesquels on place des poinçons reportant de proche en proche les charges, au moyen de tirants, jusqu'aux points d'appui extrêmes. Employée depuis longtemps pour franchir les faibles portées dans les ponts à tablier supérieur, elle a été appropriée par M. Albert Fink aux grandes ouvertures et aux ponts à tablier inférieur, et comme elle se prête de la façon la plus commode à l'emploi du bois pour les pièces comprimées, la possibilité de la construire économiquement en a fait multiplier l'emploi dans les États du Sud-Est.

Pont sur la Monongahela. — Cette ferme s'est d'abord répandue sur le réseau de la Compagnie de Baltimore et Ohio, dont un des principaux ponts, le pont sur la Monongahela à Fairmount, a été établi de 1851 à 1852 dans ce système.

Ce pont est à tablier inférieur, et comprend trois travées ayant chacune une portée de $62^{m},50$ divisée en seize panneaux; les poinçons, d'une hauteur de $6^{m},88$, sont reliés à leurs extrémités inférieures par des longrines en fonte entre les abouts desquelles passent des entretoises en bois. Des tirants formant croix de Saint-André sont intercalés dans tous les panneaux entre les poinçons, pour s'opposer aux déformations dans le sens longitudinal.

Le libre mouvement des fermes sous l'action des charges et de

la température est facilité par la suspension de leurs extrémités à des articulations permettant à la fois l'allongement et le changement d'inclinaison; les entretoises sont suspendues comme dans la plupart des ponts américains par des étriers placés à la base des poinçons.

Cet ouvrage, dont les dessins ont été souvent reproduits [1], a été le point de départ d'une série de constructions entreprises sur le même type.

Pont sur le Green River. — Parmi les plus remarquables, nous citerons le pont à tablier supérieur établi au passage du chemin de fer de Louisville et Nashville sur le Green River, où la suppression devenue possible, des longrines inférieures simplifie notablement l'ossature des fermes. Celles-ci, divisées comme dans le pont précédent en seize panneaux, ont une hauteur de $7^m,33$ et une portée de $62^m,86$.

L'inspection des dessins (fig. 1 à 11, pl. VIII) y fait remarquer plusieurs perfectionnements.

1° Les poinçons du dernier ordre y ont été raccourcis de manière à donner aux tirants qui les supportent les mêmes inclinaisons qu'aux tirants qui correspondent aux points de division de l'ordre qui le précède immédiatement.

2° Un système de coins permet de régler la longueur des poinçons et de raidir ainsi au besoin les tirants.

3° Les fermes sont suspendues à leurs extrémités par des secteurs, qui peuvent à la fois s'incliner et se déplacer longitudinalement sur les faces d'appui.

Nous signalerons en outre les dispositions particulières des entretoises, constituées par des arcs en fonte sous-tendus par des tirants formant cordes, et sur l'extrados desquels sont posées les longrines portant la voie.

Ponts mixtes. — Dans certains ponts tels que ceux de Grafton sur le Tygart River (Virginie) et du Big Black River sur le Southern et Mississipi R.R., le premier, à tablier inférieur, le deuxième, à tablier supérieur, les semelles sont exécutées en bois et abritées par des toits ou des appentis.

Dans les ponts les plus récents du système Fink, on a complète-

---

1. Il figure dans plusieurs collections, notamment dans celle de l'École des ponts et chaussées.

ment remplacé les pièces en fonte par des pièces en fer, principalement par des colonnes de Phénixville.

Le système Fink a cessé d'être employé pour les ponts à tablier inférieur où il est moins économique que les systèmes à semelles parallèles, mais il continue d'être appliqué dans les ponts à tablier supérieur, concurremment avec ces mêmes systèmes. Pour pouvoir être employé avec un réel avantage, il exige toutefois que l'on puisse donner aux poinçons une assez grande hauteur; il est donc surtout approprié à la construction des viaducs, où la hauteur libre ne manque pas. Nous le verrons plus loin associé à d'autres systèmes dans les grands ponts de Louisville sur l'Ohio et de Saint-Charles sur le Missouri, où il a été appliqué à des travées de 75 mètres et de 91 mètres.

Le grand usage qui est fait de la ferme du système Fink pour les ponts à tablier supérieur de grandes comme de petites portées se justifie, indépendamment de l'économie qu'il procure, par les avantages suivants :

1° Les efforts dans toutes les pièces tendent toujours à se produire dans le même sens, et dans les déformations de la ferme dûes, soit au passage des surcharges, soit aux inégales variations de température dans les diverses parties de la construction, la position normale des poinçons par rapport à la semelle supérieure, assurée par la symétrie des tirants, a pour effet de maintenir une égale répartition des efforts entre toutes les parties du système. C'est un système qui, suivant l'expression des ingénieurs américains, se règle de lui-même (*self adjusting*). Pour ce motif, c'est un des systèmes de fermes qui comporte le mieux l'emploi de matières différentes.

2° Toutes les pièces de la semelle supérieure subissant une égale compression au passage des surcharges, et les points de division de même ordre correspondant aux mêmes efforts maxima dans les poinçons et les tirants, la construction de la ferme est simplifiée par suite de la répétition des pièces de même section.

3° La plupart des pièces, étant doubles et indépendantes les unes des autres, peuvent être facilement remplacées sans avoir recours à des échafaudages, ni suspendre le service des trains.

A côté de ces avantages la ferme Fink offre des inconvénients sérieux. En premier lieu, l'indépendance relative des pièces correspondant à chaque ordre de division a pour résultat d'y rendre

brusques et non progressifs les efforts qui se développent sous les charges roulantes. En deuxième lieu, les flèches prises par les fermes, au passage des surcharges, à égalité de travail maximum dans les pièces, sont plus considérables avec cette ferme qu'avec les fermes à tables parallèles. Enfin, la grande longueur des tirants aboutissant aux poinçons des divisions principales tend encore à accroître les déformations par la difficulté de les raidir convenablement dans le montage, en même temps que l'absence du contreventement longitudinal existant dans les autres systèmes de fermes en augmente le danger.

Nous donnons dans le tableau suivant les proportions des ponts les plus remarquables construits dans ce système.

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	POSITION du TABLIER.	PORTÉE.	HAUTEUR DES FERMES.	RAPPORT de la HAUTEUR à la PORTÉE.	NOMBRE DE PANNEAUX.
		m.	m.		
Petits ponts du Baltimore Ohio R. R.	Supérieur	15,20	1,52	1 : 10	4
Pont de Wheeling	»	22.90	2,54	1 : 9	8
Pont de Tygart Valley	Inférieur	61,00	7,16	1 : 8,5	16
Viaduc du Green River	Supérieur	62,83	7,33	1 : 8,5	16
Pont sur la Monongahela	Inférieur	62,50	6,88	1 : 9,4	16
Pont de Louisville sur l'Ohio	Supérieur	74,90	9,00	1 : 8,3	16
Pont de Saint-Charles sur le Missouri	»	91,20	10,98	1 : 8,3	16

La hauteur qui était donnée tout d'abord aux poinçons dans les ponts de faible ouverture est aujourd'hui considérée comme trop petite pour procurer le maximum d'économie. Dans les viaducs de $9^{m},15$ (30 pieds) de portée, que l'on construit fréquemment aujourd'hui, cette hauteur est portée généralement à un cinquième de l'ouverture, ainsi que nous le verrons plus loin à l'occasion des viaducs.

SYSTÈME BOLLMAN.

Ce système, qui a reçu beaucoup moins d'applications que le précédent, et qui paraît aujourd'hui à peu près complétement abandonné, diffère, comme on le sait, du système Fink, en ce que les poinçons, placés aussi en divers points de la semelle supérieure,

divisée en parties égales, sont tous reliés aux deux extrémités de cette semelle par des tirants d'inclinaisons et de longueurs inégales à l'exception de ceux qui partent du poinçon central.

Le système Bollman, dont le principal avantage consiste dans la transmission directe des charges aux points d'appui, exige, pour être suffisamment économique, de faibles portées, et une hauteur de fermes relativement considérable ; à mesure que le nombre de divisions croît avec la portée, il s'alourdit considérablement.

En outre, les poinçons ayant, par suite de l'inégalité de longueur des tirants, une certaine tendance à s'incliner sous l'action des surcharges ou des variations de température, on ne parvient à remédier à cet inconvénient qu'en interposant, entre le point de concours des tirants et le sommet du poinçon, une courte bielle ; il s'ensuit que le tablier se trouve dans des conditions à peu près semblables à celles d'un pont suspendu tenu par des haubans.

La difficulté de régler convenablement la tension de ces haubans de manière à obtenir une égale répartition des charges, difficulté qui s'accroît avec leur multiplicité, concourt avec l'isolement des poinçons à y accroître le danger des oscillations longitudinales, que détermine le passage des charges. On a essayé d'y porter remède en interposant entre les poinçons des tirants disposés en diagonales, mais on arrive alors à faire que les tirants principaux ne travaillent plus comme le supposerait la théorie et que le poids de l'ouvrage est considérablement augmenté.

Pont de Harper's Ferry. — Un des ponts les plus remarquables construits dans ce système est le pont à sept travées sur le Baltimore et Ohio R.R. à Harper's Ferry. Ce pont, à tablier inférieur, qui franchit successivement le Potomac et le canal de Chesapeake et Ohio en traversant une vallée très-étroite bordée de rochers à pic, donne passage à une route en même temps qu'à la voie ferrée qui est simple. Celle-ci, après s'être engagée sur le pont par une courbe de 91^{m},50 de rayon, présente, avant d'atteindre la culée de la rive droite, une bifurcation correspondant à l'embranchement du Winchester et Potomac R.R., dirigé vers le Sud. La ligne principale se dirige vers l'Ouest en sortant du pont par une deuxième courbe de 91^{m},50 de rayon, tandis que la voie de l'embranchement est rectiligne et rencontre la culée de la rive droite normalement.

Les plus grandes travées ont une ouverture droite de 41 mètres,

divisée en neuf panneaux : la hauteur des fermes est de $5^m,40$ dans les travées droites et de $7^m,50$ dans les travées obliques. Les poinçons divisant les panneaux sont en fonte, ainsi que la semelle supérieure dont les deux extrémités, posées sur des supports à doubles colonnes du même métal, portent, articulés à une sorte de croupière, les tirants en fer de la ferme ; des croix de Saint-André remplissent les intervalles entre les poinçons [1].

Il existe un certain nombre de tabliers de ponts tournants portés par des fermes Bollman, parmi lesquels nous citerons le pont tournant de Quincy (Illinois) sur le Mississipi, intercalé au milieu de travées fixes construites dans le même système.

SYSTÈME HOWE.

Il n'existe qu'un très petit nombre d'exemples de l'application de ce système aux ponts entièrement métalliques. L'un de ces ponts est, tout récemment, devenu tristement célèbre par une épouvantable catastrophe.

Pont d'Ashtabula. — C'est le pont d'Ashtabula sur la ligne du Lake Shore and Michigan Southern (fig. 12 à 17, pl. VII) dont la chute en décembre 1876, au passage d'un train, a entraîné la mort de plus de cent personnes.

Ce pont, établi en 1865 avec une portée de 45 mètres, était à deux voies et à tablier supérieur (*deck bridge*).

1. Sur le chemin de fer de Baltimore et Ohio le système Bollman a été appliqué à un assez grand nombre de ponts ayant de 30 à 40 mètres de portée.

On le trouve associé à un autre système dans les grands ponts sur l'Ohio, de Benwood (près de Wheeling) et de Parkersburg.

Le premier de ces ponts, construit de 1868 à 1871, comprend neuf travées dont les portées varient de 32 mètres à $36^m,90$, et qui ont été établies d'après le système Bollman avec tablier supérieur. Les six autres travées, ayant $64^m,36$, $64^m,66$, $64^m,97$, $106^m,14$, $73^m,66$ et $64^m,05$ d'ouverture, sont construites dans le système Linville.

Le pont de Parkersburg, construit de 1869 à 1871, comprend douze travées de 18 mètres à $19^m,20$ et quatorze travées de $30^m,50$ à $38^m,45$ d'ouverture, du système Bollman, à voie supérieure, et six autres travées ayant $63^m,74$, $64^m,36$, $64^m,96$, $106^m,45$, $106^m,45$ et $64^m,96$ d'ouverture, du système Linville. Les deux grandes ouvertures sont à voie inférieure (*through spans*).

Les travées du système Bollman ont toutes été construites dans les ateliers du chemin de fer à Mount Clare ; celles du système Linville étaient livrées par la Keystone Bridge Company.

Les abords du pont de Benwood sont formés sur 437 mètres par quarante-trois voûtes en maçonnerie ; ceux du pont de Parkesburg, sur 130 mètres, par douze travées métalliques.

Ces deux ponts ont coûté ensemble environ 11 686 000 francs.

Les deux fermes, composées chacune de quatorze panneaux, avaient 6^{m},10 de hauteur et 5 mètres d'écartement.

Les dessins fig. 14 à 17 de la planche VII en font comprendre les dispositions de détail les plus importantes.

La chute du pont a eu lieu au moment où la tête du train, composé de deux locomotives et d'un petit nombre de wagons de voyageurs, marchant à une vitesse très modérée, venait de franchir presque toute la longueur du pont. La locomotive placée en tête a pu atteindre la culée, tandis que la deuxième locomotive et le reste du train ont été précipités au fond du ravin.

L'accident n'étant dû ni à un déraillement, comme il en est arrivé fréquemment en Amérique sur les ponts, surtout avant l'introduction des contre-rails, ni à la mauvaise qualité des fers, ainsi qu'on a pu le constater après l'évènement, paraît devoir être attribué surtout au mode défectueux d'assemblage des croix de Saint-André avec les semelles supérieures. Il résultait en effet de ce mode d'assemblage, qu'à la naissance du deuxième panneau, où paraît avoir commencé la rupture, les réactions développées dans les six montants inclinés formant l'un des bras de la croix ne pouvaient véritablement se transmettre qu'à deux des cinq poutres formant la semelle supérieure par l'intermédiaire des deux saillies verticales que portaient les boîtes d'assemblage en fonte; les autres poutres qui ne présentaient pas de joints en ce point ne participaient pas directement à la transmission des efforts. Il a suffi que quelques-unes de ces saillies, d'une section trop faible pour les efforts qu'elles avaient à transmettre, et dont des soufflures diminuaient encore la section utile, ainsi qu'on a pu le constater après l'accident, cédassent au passage de la charge roulante, pour amener la rupture par écrasement de celles des poutres de la semelle supérieure, qui, par suite de l'inégale répartition de la charge entre toutes les files de poutres résultant de leur disposition même, se trouvaient déjà soumises à des efforts trop considérables.

La flexion transversale des montants inclinés, qui offraient dans le sens normal à l'âme une résistance assez faible, a pu jouer également un certain rôle dans l'accident, dont la cause déterminante paraît avoir été une violente tourmente de neige coïncidant avec un grand froid, qui, en imprimant au tablier au moment du passage du train des oscillations transversales, a dérangé les assemblages et déterminé dans les pièces de fonte des efforts addi-

lionnels d'autant plus dangereux que le froid rendait le métal plus cassant.

L'accident du pont d'Ashtabula, un des premiers ponts métalliques construits dans le système Howe, montre que la ferme de ce système ne saurait s'appliquer avec sécurité aux ponts métalliques, qu'à la condition d'adopter pour les montants inclinés et leurs assemblages avec les semelles des dispositions qui en garantissent mieux la rigidité, et qui assurent plus efficacement l'égale répartition des efforts transmis dans toutes leurs parties [1].

Cette nécessité était du reste reconnue depuis longtemps par les ingénieurs américains, et nous avons déjà vu que, dans les principaux types de ponts métalliques aujourd'hui en usage, l'agencement et le mode d'assemblage des pièces inclinées est tout différent.

SYSTÈME PRATT.

La ferme du système Pratt est employée dans sa forme la plus simple, c'est-à-dire sans croisement, dans les ponts construits soit en fer et bois, soit entièrement en fer.

Pont de Pittston. — Les dessins. fig 10 et 11, pl. VI, se rapportent à l'un de ces ponts construit à Pittston (Pennsylvanie) pour deux voies sur l'Erie R.R.

Ce pont qui est biais, compte huit travées de 43^{m},82 suivant le biais, divisées chacune en dix panneaux de 6 mètres de hauteur; toutes les pièces comprimées sont en bois et s'engagent à leurs extrémités dans des boîtes en fonte sur lesquelles viennent se fixer les extrémités des tirants; tous les tirants sont en fer rond.

Il y a lieu de remarquer dans ce pont : 1° la disposition adoptée pour faire croître le nombre de pièces de bois constituant la semelle supérieure, des extrémités au milieu de la travée; 2° la manière dont les traverses de la voie sont supportées par des longrines en

1. En Autriche, où plusieurs ponts avaient été construits à partir de 1855 sur divers chemins de fer dans le système Schifkorn, qui n'est autre chose que le système de Howe adapté à l'emploi du fer et de la fonte, un accident tout-à-fait semblable est arrivé en mars 1868 au pont de Czernowitz sur le Pruth (Gallicie). Une travée de 56^{m},88 de ce pont s'est rompue au passage d'un train.

L'enquête a fait reconnaître que l'accident devait être attribué à la rupture des pièces de fonte, qui avaient subi des efforts de plus de 18 kilogrammes par millimètre carré.

A la suite de cet accident l'emploi de la fonte dans les fermes de pont a été interdit par une loi.

fer à T intercalées entre les barres de la semelle inférieure, dont les axes sont espacés d'une ferme à l'autre de 5 mètres.

Les assemblages aux points de jonction des pièces inclinées étant disposés de manière à répartir les pressions sur la totalité des pièces assemblées et possédant une grande fixité, ne laissent plus de prise aux objections que soulevaient ceux du pont d'Ashtabula.

Les fermes du système Pratt sont le plus souvent construites entièrement en fer. Les principales Compagnies de construction, notamment les : Phénixville C^y, Keystone Bridge C^y et American Bridge C^y, y appliquent chacune des fers spéciaux différents. Comme pour les ponts en bois des systèmes Howe et Pratt, on limite généralement à 150 pieds ($45^m,75$) l'emploi de la ferme Pratt entièrement métallique. Pour la portée de $45^m,75$, la hauteur des fermes est habituellement de 1/7 à 1/8 de la portée, et la longueur du panneau est de $4^m,16$, ce qui correspond à onze panneaux.

Les fermes sont le plus souvent armées de contre-tirants sur toute leur longueur, sauf dans les panneaux extrêmes.

Nous aurons plus loin l'occasion d'examiner la question, controversée entre les constructeurs américains, de l'utilité des contre-tirants étendus à toute la ferme.

Le tableau ci-après, extrait d'un compte rendu de la Compagnie du Cincinnati Southern R.R., donne les principaux éléments relatifs à la construction de quatre ponts du système Pratt exécutée par l'American Bridge C^y.

EMPLACEMENT.	POSITION du TABLIER.	PORTÉE.	HAUTEUR DES FERMES.	RAPPORT DE LA HAUTEUR à la portée.	NOMBRE DE PANNEAUX.	MATIÈRE DES LONGRINES.	MATIÈRES employées par mètre courant.		PRIX par mètre courant.
							Cube de bois.	Poids de fer et fonte.	
			m.					kil.	fr.
Lexington......	Inférieur.	Biaise de $38^m,45$.	6,10	1:6,4	9	Fer.	$0^{m3},38$	1520	977
Elkhorn Creek..	Supérieur.	Droite de $45^m,75$.	6,10	1:7,5	11	Bois.	0 ,89	1420	1000
Green River....	Inférieur.	Droite de $24^m,40$.	6,10	1:4,0	7	Bois.	0 ,88	990	701
Pitman Creek ..	Supérieur.	Droite de $31^m,00$.	4,00	1:7,7	7	Bois.	0 ,86	1900	564

SYSTÈME PETTIT.

La ferme du système Pratt conduisant à donner aux longrines qui supportent les rails une trop grande portée lorsque la longueur de la ferme devient un peu considérable, par suite de l'espacement croissant des articulations formant les points d'appui des longrines, on a cherché à remédier à cet inconvénient sans augmenter le nombre des articulations, en intercalant entre celles-ci des points d'appui intermédiaires pris au milieu de la longueur des tirants.

Tel est l'objet réalisé dans la ferme du système Pettit qui s'applique aussi bien aux ponts à voie supérieure qu'à voie inférieure.

Dans cette ferme (fig. 5 et 12, pl. V), il n'existe pas de contre-tirants; les tirants sont construits de manière à pouvoir résister à la compression dans les travées centrales, et, du milieu de chaque tirant, part, suivant que la voie est supérieure ou inférieure, une bielle ou un tirant vertical, supportant une entretoise intermédiaire. Un demi-arbalétrier ou demi-tirant incliné vient soulager le tirant principal au point de suspension secondaire.

Le demi-tirant ayant l'inconvénient de reporter la charge appliquée en ce point vers le centre de la ferme, on a fini par lui préférer, pour les ponts à tablier inférieur, le demi-arbalétrier qui opère la translation en sens contraire.

Pont de Mount Union. — Comme exemple de l'application de ce système aux ponts à tablier supérieur, nous citerons le pont de Mount Union sur le Pennsylvania Central R.R., qui comprend une travée de $36^{m},45$, trois travées de 57 mètres et une travée de $37^{m},60$. Ce pont est à deux voies et à tablier supérieur; il y a trois fermes, espacées l'une de l'autre de $2^{m},85$. Comme dans la plupart des ponts américains à deux voies, les voies sont placées de manière à assurer entre les trois fermes une répartition égale des charges, dans le cas du passage simultané de deux trains. Chaque ferme se divise en huit panneaux principaux et seize panneaux secondaires; leur hauteur est de $4^{m},70$, soit 1/8 environ de la portée.

Les dessins (pl. VIII, fig. 9 à 16) extraits du Manuel des ingénieurs de chemins de fer de Vose donnent les principales dispositions de détail de ce pont.

Pont de Trenton. — Le grand pont en bois de Trenton sur la Delaware, dont il a été question plus haut, a été remplacé en 1874

par un pont à tablier inférieur et à double voie du système Pettit. Les cinq travées ont des portées variant entre 50m,63 et 63m,44. Les fermes ont 7m,93 de hauteur et sont décomposées en panneaux de 7m,32 à 8m,44 de longueur par les montants verticaux intermédiaires.

Pont de la 41e rue à Philadelphie. — Un pont par dessus la voie, à tablier inférieur, a récemment été établi à Philadelphie dans le même système pour le passage de la quarante-et-unième rue.

Les dessins fig. 1 à 8, pl. VIII, en reproduisent les dispositions principales.

La ferme Pettit offre évidemment au point de vue de l'économie, de réels avantages. Elle donne le moyen de multiplier les points de suspension de manière à n'avoir à employer que des longrines de dimensions ordinaires, tout en concentrant sur un petit nombre de pièces principales les efforts de compression, qu'il y a tout intérêt à ne pas disséminer sur un grand nombre de pièces, à cause de l'influence qu'exercent, sur la résistance à l'écrasement des pièces chargées debout, leurs dimensions transversales.

Il faut reconnaître toutefois que la ferme Pettit ne présente pas de garanties de rigidité aussi grandes que celles où toutes les charges sont transmises directement aux points d'articulation des semelles, reliés dans chaque panneau par un double système de diagonales, et que l'accumulation des charges sur les montants verticaux la rend moins propre à franchir les grandes portées que les fermes à croisement dont nous allons nous occuper maintenant.

SYSTÈME WHIPPLE-LINVILLE.

L'avantage, que présente le croisement des pièces de l'âme, de permettre de réduire leurs dimensions se trouve combiné avec celui de l'invariabilité du sens de ces efforts, qui caractérise déjà les fermes des systèmes Howe et Pratt, dans la ferme du système Whipple-Linville, la plus communément appliquée aujourd'hui à l'établissement des ponts métalliques, grâce à la simplicité de sa construction et aux perfectionnements apportés à l'exécution de tous ses détails par les diverses compagnies qui l'emploient.

La ferme du système Linville, dont nous avons donné fig. 6 et 7, planche V, le diagramme dans les deux hypothèses des tabliers supérieur et inférieur, est aujourd'hui employée pour toutes les

portées depuis 40 mètres jusqu'aux plus grandes qui aient été adoptées.

C'est dans ce système qu'ont été successivement construits sur l'Ohio les ponts de Steubenville (1864), de Benwood (1871), de Parkersburg (1871), de Cincinnati-Newport (1871) et de Cincinnati sur la ligne du Cincinnati-Southern (1877), qui offrent respectivement des portées de 95 mètres, 106^{m},14, 106^{m},45, 126^{m},50, et 158 mètres. Le même système est appliqué au pont actuellement en cours de construction à Poughkeepsie sur l'Hudson, qui compte cinq travées de 160 mètres d'ouverture.

Pour les ponts construits dans ce système comme pour ceux que nous avons examinés précédemment, la hauteur des fermes a été progressivement accrue dans un but d'économie. La proportion de la hauteur à la portée était d'abord de 1/10 pour toutes les ouvertures ; elle varie aujourd'hui entre 1/5 et 1/8 pour les ouvertures comprises entre 40 mètres et 100 mètres [1].

---

1. Le tableau ci-après donne les portées et les hauteurs ainsi que la répartition des poids de métal des fermes pour quatre ponts à une voie du système Linville récemment construits par l'usine de Phénixville, où les constructeurs ont cherché à réaliser la plus grande économie par un choix convenable du rapport de la hauteur à la portée dans chaque cas :

DÉSIGNATION DES PONTS :		AUX LIEUES. Montréal et Ottawa Ry	MIRAMICHI Intercolonial Ry du Canada.	1er. SUSQUEHANNA Philadelphia, Wilmington et Baltimore R.R.	2e. SUSQUEHANNA Philadelphia, Wilmington et Baltimore R.R.
Portées		47 mèt.	62^{m},20	77^{m},50	94^{m},20
Hauteur des fermes		8^{m},54	8^{m},54	11^{m},67	11^{m},67
Rapport de la hauteur à la portée		1 : 5,5	1 : 7,3	1 : 6,6	1 : 8
Poids par mètre courant.	Semelles y compris boulons	391^{k}	557^{k}	717^{k}	1283^{k}
	Ame	546	541	675	837
	Contreventement	178	125	115	120
	Tablier	457	389	432	400
	Fonte pour assemblages	108	118	161	150
Poids total par mètre courant		1680^{k}	1730^{k}	2090^{k}	2790^{k}

Le poids relativement plus élevé, eu égard à la portée, du mètre courant du premier pont sur la Susquehanna, correspond à une charge roulante admise plus considérable, qui a entraîné un certain renforcement des pièces de l'âme et du tablier. De l'avis des constructeurs, on aurait pu alléger le dernier pont, construit pour la même charge roulante, en surélevant les fermes, si l'on n'avait pas été conduit par d'autres considérations à adopter pour ce pont la même hauteur de fermes que pour le précédent où cette hauteur est mieux proportionnée.

Dans le principe, on a construit en fonte toutes les pièces comprimées des fermes du système Linville, puis les semelles supérieures seulement.

Ces semelles ont été exécutées en fonte dans les ponts de Steubenville et de Parkersburg, ainsi que dans ceux de Burlington et Quincy (1868) sur le Mississipi, et de Saint-Joseph sur le Missouri (1873) où l'on rencontre des portées de 76 et de 91 mètres. Ces semelles en fonte supportent, fixées au moyen d'écrous, les extrémités des tirants et contre-tirants.

Aujourd'hui les diverses compagnies de construction n'emploient plus que le fer pour toutes les pièces des fermes Linville, auxquelles chacune d'elles a adapté, soit des types spéciaux comme ceux des colonnes de Phénixville et de Keystone, soit des poutres rivées de diverses formes.

Les assemblages en fonte ne sont plus guère employés que par la Compagnie de Phénixville, et c'est exclusivement par des boulons d'articulation que les pièces tendues sont reliées aux deux cours de semelles.

Les panneaux ont habituellement une longueur peu différente de la moitié de la hauteur des fermes, de manière à pouvoir donner aux tirants et contre-tirants qui croisent les poteaux verticaux au milieu de leur hauteur une inclinaison voisine de 45 degrés.

Les contre-tirants, destinés à résister aux efforts développés par les charges roulantes, sont indispensables dans le système Linville, comme dans le système Pratt, pour la partie centrale des fermes.

Dans les parties voisines des culées, ils sont inutiles, parce que les tirants sont toujours tendus et qu'il faudrait qu'ils pussent prendre un certain raccourcissement pour que les contre-tirants vinssent à éprouver des efforts de tension. La plupart des ingénieurs américains restreignent aujourd'hui l'emploi des contre-tirants à la partie de la ferme où l'effort tranchant est susceptible de changer de sens; quelques-uns cependant persistent à étendre à toute la ferme l'emploi des contre-tirants, qu'ils regardent comme indispensables pour remédier au défaut de rigidité inhérent à l'emploi des assemblages par articulations, et pour combattre dans une certaine mesure les vibrations qui tendent à se produire par suite de l'arrivée brusque des trains sur la travée.

Nous ne nous arrêterons pas à décrire les diverses variétés de fermes du système Linville exécutées par les différents construc-

teurs; elles se distinguent principalement les unes des autres par les profils des pièces comprimées et les modes d'assemblage que chacun emploie.

Pont de Nicholson.— Nous signalerons seulement, parmi les ponts de moyenne portée à tablier supérieur, le type appliqué par la Delaware Bridge Cy à la construction du pont de Nicholson sur le Delaware, Lackawanna et Western R.R., comprenant trois travées de 40m,80 de portée, qui présente quelques dispositions particulières reproduites fig. 15 à 20, pl. X.

Chaque ferme est portée à ses extrémités par un poteau vertical reposant sur un chariot de dilatation, et une contrefiche, partant d'une articulation directement placée au-dessus de ce chariot, remplace le premier tirant de la ferme ordinaire, ce qui évite l'accumulation des articulations sur un même point.

Les semelles supérieures et les poteaux verticaux sont constitués par des fers en U, reliés par des treillis.

La partie métallique de ce pont, calculé pour une charge de 4500 kilogrammes par mètre courant, pèse 2058 kilogrammes par mètre courant de voie. Il a été établi au prix de 44 centimes le kilogramme de fer mis en place. Ce prix se décomposait ainsi qu'il suit :

		fr.
Prix du fer à l'usine...........	le kilogramme.	0,430
Transport.....................	«	0,003
Montage......................	«	0,005
		0,438

L'exécution complète de ce pont, qui comprenait trois travées, a été effectuée en trente-trois jours comptés depuis le jour de la commande jusqu'au jour où il a été livré à la circulation. La commande a été faite le 27 novembre 1876 et les trains passaient sur le pont le 30 décembre suivant.

Grand pont sur l'Ohio à Cincinnati (pl. IX). — L'importance exceptionnelle du grand pont, au moyen duquel le chemin de fer du Cincinnati-Southern franchit l'Ohio à Cincinnati, nous engage à nous y arrêter plus longuement.

Ce pont comprend :

Une travée de 33m,55 en courbe;

Une double travée tournante de 112m,85 de longueur;

Une travée de 158m,30;

Deux travées de 91m,50 ;

et six travées dont les ouvertures varient de 57 à 34 mètres, à la suite desquelles se trouve un viaduc métallique.

Les grandes travées sont toutes établies dans le système Linville : pour la plus grande, on avait eu d'abord l'idée de donner à la semelle supérieure des fermes un certain bombement, à l'exemple du grand pont hollandais de Kuilenburg; on a fini par s'arrêter au parti de conserver le parallélisme des semelles, beaucoup plus commode pour l'exécution et le montage, et compensant suffisamment par cet avantage son infériorité au point de vue de l'économie de la matière.

Le tableau ci-après donne les principaux éléments d'un certain nombre de travées de ce pont.

INDICATION DES ÉLÉMENTS.	INDICATION DES TRAVÉES.			
	TRAVÉE de $91^m,50$	TRAVÉE de $158^m,30$	DOUBLE travee tournante de $112^m,85$	TRAVÉE courbe de $33^m,55$
Espacement des fermes	$4^m,82$	$6^m,30$	$4^m,72$	$3^m,05$
Hauteur des fermes	$11^m,30$	$15^m,70$	$11^m,13$	$4^m,72$
Rapport de la hauteur à la portée	1/8	1/10	1/10	1/7
Nombre des panneaux	16	20	22	7
Longueur des panneaux	$5^m,62$	$7^m,85$	$5^m,00$	$4^m,70$
Poids de métal par mètre courant	3250^k	7500^k	2900^k	1420^k

Les figures 2 à 30, pl. IX, donnent les dispositions d'ensemble et de détail de la grande travée.

Pour pouvoir donner aux pièces métalliques composant chaque ferme une résistance en rapport avec les efforts considérables qu'elles ont à supporter, on a dû recourir à certaines dispositions spéciales.

Dans l'âme de chaque ferme, on a dédoublé les poteaux verticaux, qui sont constitués chacun par deux caissons en tôle parallèles, que relient en divers points de la hauteur plusieurs étages de croisillons.

Ces doubles poteaux portent, assemblées à leur sommet par des rivures, les semelles supérieures composées de quatre cours de plates-bandes verticales renforcées par des cornières et réunies par une plate-bande supérieure horizontale, d'épaisseur variable.

A leurs bases, les mêmes poteaux reposent directement sur la face supérieure des boucles terminant les barres à œil de la semelle inférieure, équarries à cet effet à leurs abouts. Le nombre de ces barres, distribuées symétriquement de part et d'autre de l'axe transversal de chaque poteau, est de dix au milieu de la portée, avec un équarrissage de $0^{m},203$ sur $0^{m},061$; il diminue progressivement en allant vers les piles où il se réduit à quatre et où les barres n'ont plus que $0^{m},035$ d'épaisseur.

Les boulons d'assemblage, de $1^{m},72$ de longueur et de $0^{m},165$ de diamètre au milieu, se réduisent à $1^{m},20$ de longueur et à $0,^{m}140$ de diamètre aux extrémités.

Les contre-tirants qui règnent sur les huit panneaux de la partie centrale ont une épaisseur uniforme de $0^{m},031$ et une largeur variant de $0^{m},031$ à $0^{m},057$; ils sont au nombre de deux par intervalle. Les barres des tirants inclinés, au nombre de quatre par groupe de tirants, ont de $0^{m},075$ à $0^{m},153$ de largeur et de $0^{m},025$ à $0^{m},057$ d'épaisseur.

Les montants verticaux sont reliés au milieu de leur hauteur par une lisse en forme de caisson, qui règne sur toute la longueur de chaque ferme, et qui se termine aux arbalétriers des extrémités. Cette lisse, placée dans la direction de l'axe neutre de la ferme, est uniquement destinée à empêcher le flambement des montants verticaux. Une contre-fiche réunissant l'extrémité de la lisse au pied de la première tige de suspension du tablier sert à contre-buter les efforts transversaux que l'allongement ou la contraction de la lisse pourrait déterminer dans les arbalétriers des extrémités.

On a dû donner des dimensions exceptionnelles à ces arbalétriers, reposant sur des tourillons de $0^{m},165$ de diamètre, qui, par l'intermédiaire de cinq flasques en tôle, transmettent toute la charge à des chariots portés par onze cours de galets de $0^{m},08$ de diamètre.

A cause de leur grande hauteur, les fermes avaient besoin d'un contreventement transversal très énergique. On a pour cela décomposé leur hauteur totale en deux parties; l'une, de $7^{m},40$, reste libre pour le passage des trains, l'autre, de $8^{m},30$, est contreventée par des tirants disposés en forme de croix de Saint-André dans chaque profil transversal répondant aux poteaux verticaux.

Ces croix de Saint-André sont encadrées entre deux cours d'entretoises renforcées par des contre-fiches.

Le tablier est formé par des entretoises à double T de 0m,61 de hauteur, suspendues sur les boulons d'articulation par de doubles étriers; elles sont reliées longitudinalement par quatre cours de longrines supportant les traverses de 3m,90 de longueur sur lesquelles sont fixés les rails. Des garde-rails en bois de 0m,20 sur 0m,125, placés à 0m,30 des rails, et protégés à l'intérieur par des cornières, servent de défense aux fermes en cas de déraillement.

On aura une idée des dimensions que doivent présenter les pièces des fermes par l'intensité des efforts transmis; les efforts de tension ou de compression au milieu des semelles s'élèvent à 1100 tonnes, les efforts de compression dans les arbalétriers extrêmes, à 495 tonnes.

Le poids roulant uniformément réparti sur la longueur de la travée a été pris égal à 2700 kilogrammes par mètre courant, et le poids par mètre courant de panneau provenant des locomotives avec leurs tenders, à 7500 kilogrammes; le poids total de la construction par mètre courant est de 8100 kilogrammes.

On n'a pas dépassé, par millimètre carré, pour les efforts de diverses natures, les limites suivantes :

Tension..	7k,00
Flexion..	5k,60
Cisaillement....................................	5k,20

L'effort limite de compression dans les pièces chargées debout a été déduit de la formule de Gordon, affectée d'un coefficient de sûreté de $\frac{1}{6}$.

Le pont tout entier, construit par la Keystone Bridge Cy dont le président est M. Linville, sous la direction de MM. Lovett et Bouscaren, ingénieurs de la Compagnie du Cincinnati-Southern R.R., a été terminé en 1877 : son exécution a demandé deux ans.

Cet ouvrage n'est pas seulement remarquable par ses grandes proportions; il l'est encore par l'extension considérable qu'y a prise le travail de la rivure appliqué non seulement à l'exécution des pièces à l'atelier, mais encore à leur assemblage sur place.

Ce système d'assemblage, joint à la liaison établie entre tous les poteaux par la lisse médiane, contribue avec la grande prépondérance du poids mort sur le poids roulant à donner au pont plus de rigidité qu'on n'en rencontre habituellement dans les ponts américains. Dans le sens transversal, la rigidité est également accrue

par les trois étages de contreventements horizontaux reliant les deux fermes et par la charpente plus substantielle du tablier. Mais si la résistance aux déformations accidentelles est ainsi mieux assurée, on ne saurait affirmer qu'il en soit de même de l'égale répartition des efforts entre tous les cours de pièces parallèles formant les tirants, semelles et arbalétriers, qui suppose à la fois le parallélisme rigoureux des axes d'articulation, l'absence complète de jeu dans les œils des barres, et le contact parfait du pied de chaque poteau vertical avec toutes les barres de la semelle inférieure, toutes conditions dont l'accomplissement est rendu très difficile par la grande longueur des boulons d'articulation et la multiplicité des barres qui y sont assemblées.

On peut d'autre part se demander s'il n'y aurait pas eu avantage à donner à cette grande travée plus de largeur entre les axes des fermes, de manière à augmenter sa stabilité transversale, et à pouvoir au besoin plus tard établir deux voies. On conçoit toutefois que l'augmentation de dépense, correspondant à un supplément de 450 tonnes de fer environ pour cette seule travée, ait fait reculer devant un élargissement qui, pour avoir un résultat utile pour l'exploitation, aurait dû s'étendre aux autres travées du même pont.

SYSTÈME POST.

Dans les fermes du système Pratt et ses derivés que nous venons d'examiner, la verticalité des arbalétriers, combinée avec l'emploi de tirants et contre-tirants, fait que les mêmes pièces n'ont jamais à supporter que des efforts d'une seule nature; mais les arbalétriers ne concourent qu'indirectement au transport des charges vers les points d'appui, qui est seulement effectué par les tirants inclinés. En leur donnant une certaine inclinaison, on peut les faire contribuer directement à ce transport, et parvenir ainsi à réaliser une certaine économie de matière.

Tel est l'objet de la ferme du système Post (fig. 9 et 10, pl. V).

Si l'on admettait pour la compression les mêmes lois que pour la tension, on serait conduit à donner à toutes les pièces de l'âme la même inclinaison de 45 degrés, comme la plus économique pour résister aux charges uniformément réparties. Pour les pièces travaillant par tension, c'est effectivement cette inclinaison que l'on cherche à réaliser dans les fermes Post; mais pour les pièces com-

primées dont la section, calculée au moyen des formules de Rankine et de Gordon que nous avons données plus haut, dépend essentiellement de leur longueur, l'inclinaison théoriquement la plus économique mesurée sur l'horizontale serait plus grande. M. Post a calculé qu'elle serait de 50 degrés environ pour les hauteurs de fermes en usage. Il a été ainsi conduit à donner aux deux séries de pièces inclinées des inclinaisons différentes, sans attacher toutefois une importance absolue à la réalisation du degré d'inclinaison qui serait théoriquement le plus favorable à l'économie.

En général, la semelle inférieure de la ferme du système Post est divisée en panneaux et demi-panneaux, savoir : un demi-panneau à chaque extrémité et un nombre impair de panneaux intermédiaires. Des deux extrémités de la division centrale de la semelle inférieure partent deux montants inclinés, se rejoignant à leur sommet sur la semelle supérieure. Les tirants, inclinés à 45 degrés, s'étendent chacun sur un, deux ou trois panneaux, suivant la hauteur de la ferme, égale à leur projection horizontale.

Il s'ensuit que cette hauteur est un certain multiple impair de la demi-longueur d'un panneau.

C'est donc en définitive de la hauteur de la ferme que dépend l'inclinaison des montants travaillant à la compression, qui est mesurée par le rapport d'une demi-longueur de panneau à la hauteur; elle est de 1/3, 1/5, 1/7 suivant que les tirants s'étendent sur un, deux ou trois panneaux.

Les fermes du système Post se terminaient dans le principe par des colonnes verticales, comme dans les fermes primitives du système Linville; on les a supprimées dans les ponts les plus récents pour faire reposer directement les derniers montants inclinés sur les culées, ce qui permet de réaliser une certaine économie.

Les contre-tirants ne sont pas moins nécessaires avec le système Post qu'avec le système Whipple-Linville, sur une partie de la longueur de chaque ferme, pour résister aux efforts dus à la charge roulante; dans la pratique ils sont toujours étendus, pour plus de sécurité, à la totalité de cette longueur.

Les fermes du système Post, auxquelles on donne habituellement une hauteur variant entre 1/8 et 1/10 de la portée, sont très économiques pour les grandes portées, et beaucoup plus rigides que les fermes Fink et Bollman.

Toutefois, en raison de l'inclinaison et de la multiplicité des pièces

assemblées sur les boulons d'articulation, la ferme Post est d'une exécution plus compliquée, d'un montage et d'un réglage plus difficiles que les autres.

Ponts sur le Missouri. — Les spécimens les plus remarquables de construction dans le système Post, sont fournis par les ponts construits par l'American Bridge Cy sur le Missouri et en particulier par le pont d'Omaha, qui relie à travers ce fleuve la ligne de l'Union Pacific aux lignes des États de l'Est [1].

Ce pont entièrement métallique, auquel se rapportent les détails de la semelle supérieure que nous donnons fig. 10 à 16, pl. XI, a été terminé en 1870; il est à tablier inférieur, et établi pour une voie seulement. Il compte onze travées de 76m,25 d'ouverture, élevées de 16m,50 au-dessus des plus hautes eaux.

Les fermes ont une hauteur de 8m,40, et se décomposent en vingt-deux panneaux de 3m,35 de longueur, y compris les demi-panneaux contigus aux piles; elles sont espacées de 5 mètres d'axe en axe.

La semelle supérieure est constituée par une série de poutres en fonte creuses, de section rectangulaire, renforcées à l'intérieur par des nervures, qui, posées bout à bout, présentent au droit des articulations des renflements en forme de caissons ouverts par le bas. C'est dans ces caissons que se logent les boîtes en fonte portant les boulons d'articulation dont les extrémités arasent les faces latérales de ces boîtes.

Les arbalétriers inclinés, en forme de fuseaux, et formés de feuilles de tôle assemblées avec des cornières, ont également une section rectangulaire.

Les tirants principaux sont en fer plat, et les contre-tirants, en fer rond avec moufles de réglage; les boulons d'articulation, sur lesquels ils viennent s'assembler en même temps que les semelles inférieures, portent les entretoises du tablier au moyen d'étriers à doubles branches.

Nous citerons encore, comme construits dans le même système sur le même fleuve, le pont de Leavenworth composé de quatre travées, dont une de 96 mètres et deux de 102 mètres, et le pont de Boonville

---

1. L'atlas de l'ouvrage de M. Malézieux, planche XIII, donne les principaux détails de construction de cet ouvrage.

à neuf travées, dont sept fixes, trois de 78 mètres, trois de 67^{m},50 et une de 25^{m},80 de portée.

Dans d'autres ponts plus petits, ne dépassant pas une portée de 60 mètres, les panneaux, au nombre de seize, ont une longueur de 3^{m},75 et une hauteur égale à une fois et demie leur longueur. Cette hauteur est par suite les 15/160 de l'ouverture.

On construit maintenant avec des poutres en tôle rivée, en forme de caisson ouvert par le bas, les semelles supérieures des ponts de ce système : les boîtes en fonte portant les articulations sont alors boulonnées sur le fond et les côtés du caisson.

L'American Bridge C^{y} a exécuté dans ces derniers temps pour les chemins de fer des Etats de l'Ouest un certain nombre de ponts du système Post, en bois et fer. Les semelles supérieures y sont généralement composées de trois pièces de bois juxtaposées; l'intermédiaire est interrompue pour le passage d'une boîte en fonte destinée à contenir l'articulation supérieure du montant incliné en bois qui est engagé à ses deux extrémités dans des embases en fonte.

Deux de ces ponts construits, l'un sur le Red River (Missouri et Kansas R.R.), l'autre sur le Brazos River (International R.R. du Texas), présentent les proportions suivantes :

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PORTÉE.	HAUTEUR.	RAPPORT de la HAUTEUR à la portée.	NOMBRE de PANNEAUX.
Pont sur le Red River.....	45^{m},45	6^{m},81	1 : 6,6	10
» » Brazos River...	78^{m},00	7^{m},51	1 : 10,4	18

Dans ce dernier pont, les tirants ne sont pas exactement inclinés à 45 degrés ; il s'ensuit que la hauteur est supérieure à une fois et demie la longueur d'un panneau.

Une autre compagnie, la Watson C^{y} de Paterson, a aussi exécuté pour le chemin de fer de l'Erié un certain nombre de ponts entièrement métalliques à moyennes portées dans le système Post, qui a été appliqué, concurremment avec le treillis et la ferme du système Pratt, à la reconstruction de la plupart des ponts de cette ligne, de 1870 à 1876.

Nous donnons ci-après les dimensions et les poids relatifs à quelques-uns de ces ponts.

EMPLACEMENT.	POSITION du TABLIER.	ANNÉE DE CONSTRUCTION.	NOMBRE DE TRAVÉES.	OUVERTURE.	LARGEUR.	HAUTEUR.	POIDS de métal par m. courant.	POIDS roulant par m. courant.
1° Ponts à une voie.								
				m.	m.	m.	kilog.	kilog.
Pont sur la Susquehanna.	Inférieur.	1869	4	46,00	4,9	5,80	1610	4460
Hawley bridge.........	Supérieur	1872	2	47,14	4,9	5,38	1230	4460
2° Ponts à deux voies.								
Passaïc River..........	Inférieur.	1873	2	34,80	8,63	6,40	1690	8920
			1	40,20	—	—	—	—
Lacawaxen River.......	Supérieur	1874	2	39,62	5,94	4,88	1910	8920
Hawley................	Supérieur	1874	4	34,54	5,49	5,38	1660	8920

SYSTÈME TRIANGULAIRE.

La ferme du système Post, lorsqu'on donne une égale inclinaison aux pièces de l'âme dans les deux sens, prend la forme d'un treillis à grandes mailles, que l'on peut considérer aussi comme dérivant de la ferme triangulaire ou ferme Warren, décomposée en plusieurs séries de triangles dont les côtés se croisent.

Réduite à sa forme la plus simple, la ferme Warren, composée de triangles juxtaposés se rapprochant de la forme équilatérale, et dont les côtés sont assemblés par des articulations, présente, comme on le sait, plusieurs avantages :

1° Les efforts développés dans les côtés de ces triangles sont indépendants des variations inégales de longueur de ces côtés, telles que celles qui peuvent résulter d'une inégalité d'échauffement ou de dilatation spécifique, ce qui fait qu'on peut associer dans la ferme des matériaux d'espèce différente.

2° L'ossature de la ferme ne contenant pas de pièces surabondantes

susceptibles de ne subir aucun effort sous la charge permanente, comme les contre-tirants des fermes Pratt, Whipple-Linville et Post, toutes les pièces de cette ossature sont soumises à chaque instant à des efforts déterminés qui se règlent d'eux-mêmes, sans qu'on ait besoin, pour que toutes puissent travailler convenablement, de procéder de temps à autre à un réglage dont la difficulté s'accroît avec la longueur des pièces, et dont les variations de température peuvent détruire l'effet.

3° La ferme Warren est moins sujette aux déformations que les autres, l'égalité des côtés dans les triangles y favorisant l'invariabilité des angles.

4° L'inclinaison égale des arbalétriers et des tirants, se rapprochant pour les uns et les autres de celle qui correspond au moindre emploi de matière, procure une certaine économie.

La ferme triangulaire entraîne toutefois l'emploi de pièces appelées à résister alternativement par compression et par tension dans la partie centrale, et comme elle conduit à donner aux divisions des semelles parallèles une longueur sensiblement plus grande que la hauteur de la ferme, elle se prête difficilement, dans sa forme la plus simple, à la construction des travées à grande portée où les entretoises supportant le tablier se trouveraient alors trop espacées.

On est donc forcé pour faire l'application de cette ferme aux grandes ouvertures, soit de recourir au croisement des triangles, soit d'intercaler à l'intérieur de chaque triangle principal des points de division secondaires.

Le premier de ces systèmes connu sous le nom de double triangulaire ou isométrique, en répartissant les efforts dus aux charges sur un plus grand nombre de pièces inclinées, permet de diminuer les sections de celles-ci.

Le deuxième système, à divisions intermédiaires, qui a été surtout appliqué par M. Fink, évite la multiplicité des articulations et concentre les efforts sur un petit nombre de pièces principales.

L'un et l'autre de ces systèmes, théoriquement plus économiques et plus rigides que le système Whipple-Linville, lui sont notablement inférieurs au point de vue de l'exécution courante des pièces, de la commodité des assemblages et de la facilité du montage. Aussi beaucoup de constructeurs préfèrent-ils à la ferme triangu-

laire la ferme à montants verticaux. Le système isométrique jouit cependant encore d'une certaine faveur, et deux des grands ponts jetés sur le Missouri, les ponts de Kansas City et de Saint-Charles, sont établis dans ce système.

Pont de Kansas City. — Le premier de ces ponts, construit de 1867 à 1869 par MM. O. Chanute et G. Morison, est un pont en bois et fer de sept travées, dont une double travée tournante ; la plus grande travée fixe a $73^m,80$. Les fermes de cette travée sont à semelle supérieure courbe; elles ont $6^m,60$ de hauteur aux extrémités et $9^m,37$ au milieu, et sont divisées en dix-huit panneaux.

Les montants inclinés, ou arbalétriers, soumis à des efforts de compression (*braces*), sont en bois; dans la partie centrale de la ferme, ils sont armés de boulons, serrés par des écrous à leurs extrémités d'en haut, contre le dessus des semelles supérieures, qui sont également en bois. Les tirants inclinés (*ties*) sont, de leur côté, tenus d'écartement d'une semelle à l'autre par des poteaux inclinés en bois qui règnent sur toute la longueur des fermes. Ces poteaux sont simples ; les arbalétriers sont doubles, et les tirants passent de chaque côté des arbalétriers.

Pour prévenir le dérangement des abouts des arbalétriers en bois, au lieu de les terminer d'équerre, on les a coupés à angle obtus, ce qui leur permet de s'engager dans un redan ménagé dans les boîtes en fonte d'assemblage des semelles supérieures.

Les traverses du tablier sont directement portées par les barres à œil formant les semelles inférieures.

La travée de $73^m,80$ comprend, par mètre courant :

$3^{m3},70$ de bois pesant............	3000	kilogr.
Fer forgé......................	896	»
Fonte	425	»
Total.............	4321	kilogr.

Toutes les pièces ont été calculées pour un poids roulant de 1680 kilogrammes par mètre courant. Les efforts ne dépassent pas $0^{kg},60$ par millimètre carré dans les pièces de bois comprimées ; $8^{kg},60$ dans les pièces de fer tendues, autres que les étriers d'attache des entretoises et les tirants de la partie centrale, où l'on a réduit les efforts maxima à 7 kilogrammes, parce qu'ils supportent directement à chaque passage de train la brusque surcharge due au poids des lo-

comotives, tandis que les autres pièces ne subissent le travail maximum que de temps à autre et progressivement.

Pont de Saint-Charles (pl. X, fig. 1 à 14). — Le pont de Saint-Charles, sur le Missouri, construit par M. C. Shaler Smith, de 1868 à 1871, est entièrement métallique. Il se compose de trois travées à tablier inférieur du système double triangulaire, et de quatre travées du système Fink, à tablier supérieur, à la suite desquelles sont établis sur les deux rives des viaducs métalliques (fig. 16 à 23, pl. XVII), formant avec le pont proprement dit une longueur totale d'environ 2 kilomètres.

Les travées du système triangulaire, élevées de 24m,7 au-dessus des eaux ordinaires du fleuve et de 15m,8 au-dessus des plus hautes eaux de 1844, ont des ouvertures de 96m,07 et une hauteur de 9m,15. La portée est divisée en vingt et un panneaux de 4m,575. Les pièces inclinées ont une inclinaison de 1 de base pour 3 de hauteur.

L'écartement entre les fermes est de 5m,40 d'axe en axe. Les semelles supérieures sont constituées par des colonnes octogonales en fonte, terminées par des abouts rectangulaires présentant à l'intérieur une série de renforts parallèles portant les boulons d'articulation. Les arbalétriers sont des colonnes à renflement central en fer laminé du système de Keystone, et les tirants, soit de simples barres plates, soit des fers plats réunis par un treillis, lorsqu'ils ont à résister à des efforts de compression (fig. 6, 7 et 10, pl. X).

Les traverses portant la voie reposent directement sur des fers en U intercalés au milieu des barres à œil de la semelle inférieure.

Le pont est consolidé transversalement par trois étages de contrevents.

Les quatre travées du système Fink ont des portées légèrement inférieures à celles des travées précédentes.

Elles offrent chacune une ouverture libre de 92m,72, et une hauteur au centre de 10m,98, avec le même espacement de fermes que ci-dessus, et elles se décomposent en seize panneaux.

Les poinçons armant la semelle supérieure vont en décroissant graduellement du centre vers les extrémités, et sont constitués, comme cette semelle, par des colonnes de Phénixville.

Le tableau suivant donne la décomposition des poids de métal employé dans chaque système de fermes, dont la comparaison pour des portées peu différentes présente un certain intérêt.

L'énorme prix de revient du montage est dû à des accidents mul-

tiples survenus aux échafaudages à la suite de débâcles et de craes qui les ont plusieurs fois emportés.

	FERME ISOMÉTRIQUE DE $96^m,07$ DE PORTÉE.			FERME FINK DE $92^m,72$ DE PORTÉE.		
	POIDS		RÉPARTITION entre les diverses parties de la même ferme.	POIDS		Répartition entre les diverses parties de la même ferme.
	par ferme.	par mètre courant.		par ferme.	par mèt courant.	
	tonnes.	kilogr.	p. 100.	tonnes.	kilogr.	p. 100.
Semelle supérᵉ..	78,73 } 134,91	819 } 1,392	25,5 } 43,8	107,82	1,159	37,5
— inférᵉ..	56,18	573	18,3			
Ame avec les assemblages.....	110,48	1,140	35,9	Tirants et poinçons } 131,31	1,520	46,0
Contreventemᵗ..	33,13	341	10,7	21,35	229	7,5
Tablier y compris portées sur la pile...........	29,73	307	9,6	25,20	271	9,0
Poids du bois	308,25	3,180	100,0	285,68	3,179	100,0
employé.......	56,25	580		54,00	582	
Totaux...	364,50	3,760		339,68	3,761	

	PRIX		PRIX	
	PAR FERME.	PAR MÈTRE COURANT.	PAR FERME.	par MÈTRE COURANT.
Sans montage..	210,726 fr.	2,172 fr.	184,320 fr.	1,980 fr.
Montage.......	195,714	1,918	115,839	1,245
Prix total.	406,440 fr.	4,190 fr.	300,069 fr.	3,225 fr.

L'égalité des poids et le peu de différence des prix par mètre courant dans les deux systèmes montrent que, même avec de grandes portées, la ferme du système Fink soutient encore avantageusement la comparaison avec les autres systèmes pour l'économie.

Ainsi que M. O. Chanute l'avait déjà fait au pont de Kansas City, M. Shaler Smith a gradué le travail maximum dans les différentes pièces de la construction en tenant compte du mode d'action et de la fréquence des efforts.

Il a admis un effort limite à la compression de $8^{kg},40$ dans le fer

et la fonte des semelles supérieures, et de $4^{kg},30$ à $4^{kg},68$ dans les arbalétriers ou poinçons.

Pour les pièces travaillant à la tension, les efforts maxima sont de $8^{kg},40$ dans les tirants de premier ordre du système Fink, de $7^{kg},9$ dans les tirants de deuxième ordre du même système, et de 7 kilogrammes dans les tirants du dernier ordre ainsi que dans les semelles inférieures des fermes triangulaires.

Ces limites ont été portées à $11^{kg},50$ dans le contreventement transversal, moins sujet à la répétition des efforts maxima.

Pour les deux systèmes de fermes, on a pris pour base dans les calculs un poids roulant de 3000 kilogrammes par mètre courant de ferme et un poids maximum de locomotive de 36 tonnes, réparti sur une longueur de base de $4^{m},20$.

SYSTÈME TRIANGULAIRE AVEC POINTS DE SUSPENSION INTERMÉDIAIRES.

Un moyen de réduire encore les portées entre les entretoises dans la ferme double triangulaire, consiste à intercaler au droit des points de croisement des pièces inclinées, une demi-bielle ou demi-tirant articulé à un boulon, placé à ce point de croisement.

Pont de Rockville. — Ce système a été employé tout récemment pour la reconstruction d'un pont du Pennsylvania-Central R.R. à Rockville, sur la Susquehanna. Ce pont, qui comprend vingt-trois travées, est à double voie et à tablier supérieur comme le précédent. Nous donnons ci-après les dimensions générales de ce pont, auquel se rapportent les figures 25 à 30, planche VII.

Longueur totale du pont	1120 mètres.
Vingt et une travées de	$48^{m},80$
Deux travées de	$46^{m},05$
Nombre de fermes par travée	3
Espacement d'axe en axe des fermes extrêmes	$6^{m},80$
Hauteur des fermes	$6^{m},00$
Nombre de panneaux principaux	8
Biais de	68°

Ce pont a été calculé pour un poids mort de 4000 kilogrammes, et une charge roulante de 8900 kilogrammes par mètre courant.

On remarquera dans ce pont l'importance du contreventement transversal, comprenant plusieurs étages d'entretoises et de tirants disposés en croix de Saint-André.

Les traverses espacées de $0^{m},53$ d'axe en axe étant directement portées par les semelles supérieures, il n'existe pas de tablier proprement dit. La section de ces semelles a été d'ailleurs calculée de manière à faire face à la compression additionnelle résultant de la flexion à laquelle elles sont ainsi exposées.

Le poids total de fer de chaque grande travée s'élève à 128 000 kilogrammes, se décomposant comme il suit :

Semelles supérieure et inférieure.	74,500 kilogr.,	soit 58 p. 100
Pièces de l'âme................	40,600 «	« 32 p. 100
Contreventement..............	13,300 «	« 10 p. 100

Commandé le 24 mai 1877, par M. J. M. Wilson, ingénieur de la construction des ponts de la Compagnie du Pennsylvania R.R., à la Delaware Bridge Cy, le pont a commencé à être monté le 11 août, et il a été fini le 18 novembre 1877, sans suspendre un seul instant le passage des trains. Le montage a été fait au moyen de deux grues roulantes allant à la rencontre l'une de l'autre, qui ont ensuite servi à démonter l'ancien pont en bois.

TREILLIS.

Il existe aussi en Amérique un certain nombre de ponts en treillis proprement dit avec rivures. Un des ponts de Pittsburg (Pennsylvanie) est établi dans ce système ; on en rencontre aussi un certain nombre dans les États de la Nouvelle-Angleterre, ainsi que dans l'État de New-York, dont la ligne principale de chemin de fer, le New-York Central R.R., a adopté presque exclusivement le treillis pour ses grands ponts.

Un des plus grands ponts à treillis est le pont construit à Middleton (Connecticut), sur la rivière de Connecticut, comprenant quatre travées fixes de 60 mètres de portée et une travée tournante double de 90 mètres.

On peut dire néanmoins que les ponts à treillis rivés constituent une exception, et l'inconvénient que présente le treillis, d'exiger sur place un travail considérable de rivure, indépendamment des autres motifs invoqués par les ingénieurs américains pour l'écarter, en fait généralement restreindre l'emploi aux pièces qui peuvent être entièrement exécutées à l'usine, et dont l'assemblage sur place peut se faire sans rivures ou à peu près.

Nous devons constater cependant que dans ces derniers temps où l'on a perfectionné notablement en Amérique le travail de la rivure, la poutre en treillis rivé a repris faveur auprès d'un certain nombre d'ingénieurs. Nous avons déjà eu l'occasion de signaler la préférence donnée au treillis pour les ponts de moins de 30 mètres de portée en raison de sa plus grande rigidité. [1].

SYSTÈME TRIANGULAIRE SANS CROISEMENT.

Nous avons dit que le second moyen employé pour diminuer l'espacement des entretoises dans la ferme triangulaire consistait à intercaler entre les points de division principaux des points de suspension secondaires.

M. Fink, président de la Louisville Bridge Cy, a appliqué ce procédé à la construction d'un grand nombre de ponts du système triangulaire exécutés en bois et en fer, principalement dans les états du Sud.

Les figures 1 à 9, planche XI sont relatifs à un pont de onze travées, construit dans ce système sur le Tennessee. Les fermes ont une hauteur de 6 mètres, et la semelle inférieure est divisée en six intervalles principaux de 7m,75, au milieu desquels des tirants de suspension partant du point de concours des montants inclinés viennent supporter les entretoises intermédiaires.

---

1. La Detroit Bridge Cy, qui construit beaucoup de ponts dans le système Linville, a eu recours à la ferme en treillis pour remplacer en 1877, sur le chemin de fer de Detroit et Michigan, le pont des « *Grands rapids* » construit il y a dix-neuf ans dans le système Burr. Ce pont comprend sept travées à tablier supérieur, dont cinq de 30m,50 de portée, et deux autres de 18m,50.

Les poutres en treillis, complètement assemblées dans les chantiers de Detroit, ont été amenées sur wagons à une distance de 257 kilomètres. Chaque ferme, de 3m,05 de hauteur, pesait 20 tonnes; elle était portée par trois wagons attelés avec assez de flexibilité pour franchir les courbes.

Le niveau des semelles inférieures du nouveau pont étant supérieur de 0m,35 aux points d'appui des anciennes travées, on a pu, en baissant les nouvelles poutres, les mettre facilement en place en quarante-six heures seulement.

Le motif déterminant qui a fait choisir le treillis, dans l'espèce, paraît avoir été la possibilité de monter les fermes de toutes pièces.

La même année, un autre pont en treillis comprenant des portées de 36m,60 et de 42m,70, a été établi sur la ligne de Syracuse, Geneva et Corning, au passage de la gorge de « *Watkins glen* ». Ce nouvel exemple de treillis, s'appliquant à une ligne toute nouvelle, tendrait à prouver que ce système de fermes gagne du terrain, au moins pour les moyennes portées. Il est à remarquer toutefois qu'il s'agit de lignes situées toutes deux dans l'État de New-York, où il existe depuis longtemps des usines spécialement outillées pour le travail de la rivure.

Les mêmes dispositions générales se retrouvent dans les ponts entièrement métalliques exécutés par le même constructeur.

Les ponts triangulaires en fer et bois de la ligne de Louisville-Cincinnati (*short line*), pour des portées de 30 mètres environ, sont revenus par mètre courant à 610 francs.

Pont sur l'Ohio à Louisville (pl. XII). — Les plus grandes travées établies dans le système triangulaire sans intersections sont celles du pont sur l'Ohio à Louisville. Cet ouvrage, construit de 1868 à 1870, comprend sur une longueur totale de $1606^{m},71$, vingt-sept travées, savoir : une double travée tournante de $79^{m},20$ établie dans le système triangulaire simple, vingt-trois travées d'une portée variant entre $15^{m},25$ et $74^{m},88$, avec fermes du système Fink, et deux travées sur les chenaux navigables de l'Ohio de $112^{m},85$ et 122 mètres de portée dans le système triangulaire sans intersections.

L'ouverture de 122 mètres est franchie par des fermes de $14^{m},03$ de hauteur décomposées chacune en sept intervalles principaux.

Chacun de ces intervalles est divisé en quatre panneaux par des tiges de suspension ayant leurs points d'attache, soit aux points de concours des montants inclinés, soit aux milieux de ces montants.

Des poteaux verticaux partant, soit des principaux points de division de la semelle inférieure, soit du milieu des montants inclinés, soulagent la portée de la semelle supérieure entre les sommets des triangles principaux, et des demi-tirants viennent soutenir les montants inclinés aux points d'articulation des tiges de suspension intermédiaires.

Dans les panneaux confinant aux piles, les arbalétriers terminaux sont soutenus également en leurs milieux par des arbalétriers plus courts, inclinés en sens inverse et portant à leur sommet une tige de suspension.

En raison du poids considérable de la travée, on a dû décomposer chaque ferme en deux fermes parallèles espacées de $1^{m},04$ qui ont été montées isolément, et qui, après le montage, ont été reliées entre elles. Toutefois les boulons d'articulation ne sont pas, comme dans le grand pont du Cincinnati-Southern, communs aux fermes juxtaposées ; des manchons en fonte, où s'engagent des boulons, relient seulement les arbalétriers et les semelles supérieures de place en place.

Ces dernières pièces sont constituées par des pièces en fonte de section octogonale, et les arbalétriers, par des colonnes de Phénixville.

Les semelles inférieures comprennent un nombre de barres à œil qui varie de huit à seize pour chaque double ferme.

Le seul intervalle où les efforts dans les arbalétriers soient sujets à changer de sens étant l'intervalle central, on a pu se contenter de faire partout reposer les arbalétriers sur les manchons d'assemblage avec les semelles sans avoir à les fixer par des boulons, sauf pour les arbalétriers du centre qui sont tenus à leurs embases par des oreilles et des goujons.

Les fermes sont fortement contreventées par plusieurs étages d'entretoises et de diagonales.

Les fermes du système Fink sont construites avec des pièces de forme analogue et ont seulement cela de particulier, qu'elles supportent la voie au moyen d'arcs en fonte sous-tendus par des tirants, et qu'elles portent des trottoirs en encorbellement.

Nous donnons ci-après les principaux éléments relatifs aux plus grandes travées.

INDICATION des TRAVÉES.	PORTÉE.	LARGEUR entre les axes des fermes.	HAUTEUR.	NOMBRE de panneaux principaux.	POIDS de métal par mètre courant.	POIDS total par mètre courant y compris la voie.
	m.	m.	m.		kil.	kil.
Grande travée, système triangulaire........	122,00	7,80	14,04	7	5,067	6,040
Moyennes travées système triangulaire...	112,85	7,80	14,04	6	4,315	5,500
Grande travée, système Fink..............	74,88	4,88	9,15	16	1,664	3,610

Pour toutes les travées, les pièces métalliques ont été calculées pour résister à une charge roulante de 3900^{k} par mètre courant sans faire travailler les semelles comprimées à plus de 1/7 de l'effort de rupture, ni les tirants ou poinçons à plus de 1/6 du même effort; les efforts au passage des surcharges ne dépassent pas 5^{k},7 par millimètre carré dans les pièces de suspension et les tirants du dernier ordre; ils atteignent 8^{k},8 dans les semelles inférieures. Pour les autres pièces soumises à des efforts de tension, on s'est tenu entre ces deux limites.

Le système de division des panneaux au moyen de tiges verti

cales et de contre-fiches intermédiaires, employé dans les fermes triangulaires du pont de Louisville, a cela de commun avec le système de la ferme Pettit, qu'il réduit les portées entre les entretoises sans multiplier les articulations principales. Les deux systèmes diffèrent en ce que, tandis que l'un prend exclusivement les points de suspension intermédiaires sur les tirants inclinés au moyen d'articulations additionnelles, l'autre reporte les charges des panneaux soit directement soit indirectement sur les arbalétriers et la semelle supérieure, aussi bien que sur les tirants principaux. Ce dernier mode de suspension contribue, avec la suppression des articulations pour l'assemblage des arbalétriers avec la semelle supérieure, à donner à la ferme plus de rigidité, mais il expose les pièces principales à des efforts de flexion qu'évite complètement le premier.

Comparée aux systèmes de fermes à semelles parallèles précédemment décrites, la ferme de Louisville offre pour les grandes portées cet avantage, que la prépondérance du poids mort, faisant que les efforts ne changent jamais de sens dans la plupart des pièces au passage des surcharges, les maintient dans les meilleures conditions de résistance et rend les déformations accidentelles peu sensibles.

En évitant l'emploi des contre-tirants, elle supprime en outre toutes les difficultés qu'entraîne le réglage de ces pièces. Cette ferme est toutefois d'une exécution moins courante, moins susceptible de se prêter à l'emploi exclusif du fer, à cause de la forme plus ou moins compliquée des assemblages, que celles que nous avons précédemment passées en revue, et en fait, elle n'a pas reçu pour les très grandes portées d'autre application que celle que nous venons de signaler.

Pour les ponts de faible ouverture, la ferme triangulaire soit simple, soit avec bielles et tirants verticaux au milieu des triangles (fig. 13 et 14, pl. V.) est d'un emploi courant sur tout le réseau de la Compagnie du Pennsylvania R.R. Pour les ouvertures plus considérables, c'est le type du pont de Rockville avec demi-tirants ou demi-bielles, suivant que le tablier est inférieur ou supérieur, qui est le plus employé (pl. V. fig. 15 et 16).[1]

1. Le grand viaduc établi récemment en Ecosse, à l'embouchure du Tay, est construit dans le même système que le pont de Rockville.

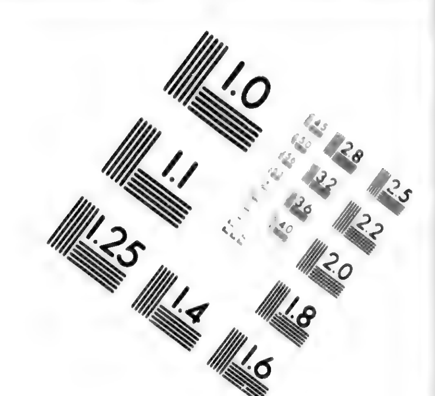
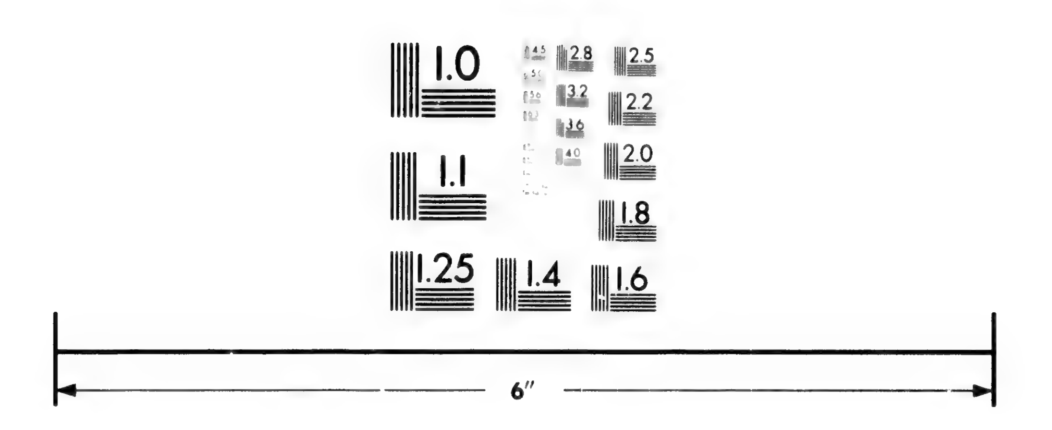


IMAGE EVALUATION
TEST TARGET (MT-3)





M. J. M. Wilson, a été conduit à l'adoption de ces quatre types en cherchant à combiner les avantages de la ferme triangulaire avec ceux de la ferme à arbalétriers verticaux, où les pièces comprimées de l'âme sont courtes et d'un assemblage facile avec les deux semelles. Il a tout d'abord appliqué aux petites ouvertures la ferme du système Pratt sans contre-tirants, en disposant les tirants inclinés du milieu de la ferme pour résister à la compression comme à la tension; puis, comme ce système ne se prête pas aux grandes portées, où il entraînerait de trop grandes longueurs de panneaux, il a eu recours aux divers types du système Pettit, que nous avons mentionnés plus haut.

M. Wilson a fini par abandonner ces divers types comme moins économiques en définitive, que celui de la ferme triangulaire avec ou sans croisement pour les petites portées, et avec panneaux divisés par des demi-bielles ou demi-poinçons pour les portées moyennes.

PONTS EN ARC.

Pont de Saint-Louis, sur le Mississipi (pl. XIII). — Le spécimen de pont en arc le plus remarquable, pour ne pas dire le seul que l'on connaisse en Amérique, est le pont de Saint-Louis, sur le Mississipi, présentant deux tabliers superposés, l'un supérieur pour la circulation ordinaire, l'autre inférieur pour les trains de chemins de fer.

L'arc métallique a été choisi comme le plus économique pour franchir les grandes portées auxquelles on était conduit par la nécessité de restreindre le plus possible le nombre des piles, qui devaient présenter des difficultés exceptionnelles de fondation.

Le pont franchit le Mississipi, qui a en ce point 500 mètres de largeur, au moyen de trois travées en arcs dont la portée est de 158^{m},50 pour la travée centrale, et de 153^{m},01 pour chaque travée latérale; les flèches correspondantes sont de 18^{m},20 et 17^{m},20, soit 1/8,6 et 1/8,8 de la portée.

Le sommet de l'intrados de la travée centrale s'élève à 21 mètres au-dessus des eaux moyennes.

Le pont a une largeur de 16^{m},50 entre garde-corps; le tablier inférieur passe au niveau du sommet de l'intrados des arcs et supporte une double voie ferrée se prolongeant en souterrain sur la

rive droite et en viaduc sur la rive gauche (fig. 1, pl. XXVIII). Le deuxième tablier, élevé de 8 mètres au-dessus du précédent, est établi dans le prolongement d'une des rues de la ville de Saint-Louis.

Les fermes des arcs supportant la superstructure sont au nombre de quatre par travée; leur espacement est de $5^m,03$ au milieu et de $3^m,66$ sur les côtés. Chaque arc est constitué par la réunion de deux cours de tubes cylindriques en acier, placés parallèlement à $3^m,60$ de distance verticale d'axe en axe, et reliés par des montants inclinés de part et d'autre de la normale à l'arc, qui forment une sorte de treillis (fig. 4, pl. XIII).

Les tubes ont une longueur moyenne de $3^m,60$ et un diamètre extérieur de $0^m,45$, avec une épaisseur croissant progressivement du sommet aux naissances. Ils sont assemblés au moyen de manchons également en acier, présentant des rainures où s'engagent des saillies ménagées aux extrémités des tubes. Des boulons transversaux en acier, passant au milieu des manchons, servent de points d'attache aux barres du treillis reliant les deux arcs.

Ces boulons supportent en outre les montants verticaux recevant les entretoises du double tablier, et ils sont prolongés sur toute la largeur de la travée par des tubes, qui, avec plusieurs systèmes de tirants en diagonale, forment le contreventement transversal de la travée.

Chaque double ligne de tubes repose sur les piles et les culées au moyen de coussinets portant des manchons en fer forgé où s'engagent les derniers tubes, et qui sont fixés d'une manière invariable dans les maçonneries par de longs boulons (fig. 8 et 9, pl. XIII).

L'encastrement a été ainsi substitué aux articulations aux naissances, dans le but de réduire les déformations sous l'action des charges ; mais, comme l'encastrement a pour effet d'accroître notablement l'influence des variations de la température, qui peut osciller entre 55 degrés au-dessus de zéro et 25 degrés au-dessous, on a dû renforcer les arcs sur une partie de leur longueur à partir des naissances. L'épaisseur des tubes croît depuis $0^m,030$ au sommet jusqu'à $0^m,062$ aux naissances.

Le tablier portant la double voie ferrée est suspendu aux boulons transversaux d'assemblage des tubes, dans la partie des travées où il est compris entre les deux arcs (fig. 14 et 15), et supporté par des

fermes de forme trapézoïdale rattachées aux montants du tablier supérieur au delà des arcs (fig. 12 et 13).

Les pièces d'acier ont été calculées de manière à ne pas dépasser un effort maximum de 16 kilogrammes à la tension et de 20 kilogrammes à la compression par millimètre carré. Ces pièces devaient, en outre supporter, par millimètre carré sans altération permanente, une compression de 43 kilogrammes et une tension de 29 kilogrammes, et résister sans se rompre à une tension de 72 kilogrammes par millimètre carré.

Le poids total de chaque ferme de la travée centrale, non compris le contreventement transversal, est de 220 654 kilogrammes, dont 147 729 kilogrammes d'acier pour les tubes et leurs assemblages.

Le poids par mètre courant de chaque ferme est par suite de 1400 kilogrammes, non compris la portion du poids du contreventement et des tabliers qu'elle supporte s'élevant à 1600 kilogrammes, dont 930 kilogrammes d'acier et 470 kilogrammes de fer, soit un poids total, par ferme et par mètre courant, de 3000 kilogrammes, qui peut s'élever, avec la surcharge, à 5400 kilogrammes.

L'emploi qui a été fait de l'acier par les ingénieurs auxquels on doit le pont de Saint-Louis, MM. J. Eads et H. Flad, a été vivement critiqué par plusieurs ingénieurs américains à cause des difficultés qu'il a occasionnées dans l'exécution et l'ajustage des pièces entrant dans la composition des fermes; on a également blâmé l'adoption de la ferme en arc et son encastrement.

Il y a, tout d'abord, lieu de reconnaître que si l'emploi de l'acier peut se justifier, c'est dans le cas d'un pont de très grande portée, comme celui de Saint-Louis, où l'on pouvait utiliser toute sa résistance sans avoir à craindre, au passage des surcharges, ni les vibrations, ni les déformations excessives auxquelles il serait exposé dans les ponts de faible masse, et dont le grand excès de poids mort était de nature à rendre les effets peu sensibles. En fait, l'emploi de l'acier dans la construction du pont de Saint-Louis paraît avoir procuré une certaine économie; mais cette économie n'a été obtenue qu'en forçant notablement les limites de résistance admises en Europe pour ce métal.

Nous avons dit tout à l'heure le motif qui avait fait préférer l'encastrement à l'articulation aux naissances.

En n'admettant qu'on n'eût que le choix d'accroître, soit les efforts

dus aux variations de température, par l'encastrement, soit les efforts dus aux surcharges, par l'articulation, il est incontestable que ceux-ci étant brusques, ceux-là progressifs, il valait mieux se résigner au premier parti qu'au second. On doit toutefois conclure de l'exemple du pont de Saint-Louis, où les efforts occasionnés par les changements de température atteignent ceux que produisent les surcharges, que les ponts en arc, ayant à subir par l'action de la première de ces causes des déformations dont les poutres droites sont exemptes, rencontrent dans le climat à variations excessives de l'Amérique du Nord des circonstances peu favorables à leur emploi, et la construction ultérieure du grand pont de Cincinnati sur l'Ohio a montré qu'il était possible de franchir des ouvertures aussi grandes avec un système de fermes d'une exécution plus facile et suffisamment économique, tout en satisfaisant à toutes les conditions de sécurité désirables.

Nous reviendrons plus loin sur les opérations du montage du pont de Saint-Louis, qui présentent un intérêt tout particulier en raison du procédé spécial qui y a été employé.

PONTS SUSPENDUS.

Il nous reste à parler de l'emploi qui a été fait des ponts suspendus pour porter des voies ferrées.

On sait que les nombreux perfectionnements introduits dans la construction des ponts suspendus par les ingénieurs américains, et consistant principalement dans l'addition de haubans et de câbles d'amarrage multipliés, dans l'inclinaison du plan des câbles, et dans une certaine rigidité donnée au tablier, ont fait acquérir à ce système de construction une stabilité bien supérieure à celle qu'il présente dans les ponts européens.

Pont suspendu sur le Niagara. — Quand il s'est agi de relier à travers le Niagara le réseau des chemins de fer du Canada aux chemins de fer des Etats-Unis, on n'a donc pas hésité à recourir à ce système de ponts.

Le pont suspendu établi en aval de la chute du Niagara, de 1851 à 1855 par J. Röbling, a 250 mètres de portée; il est muni de deux tabliers, séparés par une distance de 7 mètres. Le tablier supérieur sert à la circulation des trains, l'autre, à la circulation ordinaire. Le tablier supérieur porte trois rails, formant deux à deux les largeurs

de voie de $1^m,68$ et de $1^m,44$ adoptées sur les différentes lignes qui aboutissent au pont, et reposant sur deux longrines constituées chacune par quatre poutres.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur la description de ce pont, pour laquelle nous renvoyons à l'ouvrage de M. Malézieux. Nous nous bornerons à constater que ce pont suspendu, dont la flexion au passage des trains ne dépasse pas $0^m,25$, soit 1/1000 de la portée, s'est maintenu jusqu'à ce jour, à part quelques avaries de peu d'importance, causées par les terribles ouragans auxquels il est exposé, et immédiatement réparées, en parfait état de conservation. Un examen minutieux de toutes ses parties, fait il y a trois ans, c'est-à-dire vingt-deux ans après sa construction, a permis de constater que les fils composant les câbles, aussi bien dans les parties noyées dans les massifs d'ancrage que dans les parties extérieures, ne présentaient pas de traces d'altération, et que l'élasticité du métal n'avait pas sensiblement changé. C'est à peine si une douzaine de fils étaient endommagés dans les ancrages[1].

Quoiqu'il en soit, il est évident que l'emploi des ponts suspendus dans la construction des chemins de fer ne saurait se justifier que dans des cas extrêmes, et qu'ils laissent toujours à désirer par suite de l'incomplète rigidité du système et de l'influence considérable qu'exercent les variations de température sur la répartition des charges entre les câbles et les haubans, dont dépend essentiellement la stabilité de la construction.

Pont suspendu sur l'East-River entre New-York et Brooklyn. — Le pont suspendu, actuellement en construction, sur la rivière de l'Est, à New-York, et qui présentera une portée de $486^m,30$, aura une largeur totale de $23^m,91$, comprenant au centre un trottoir supérieur de $4^m,51$, et, de chaque côté de ce trottoir, une voie ferrée de $3^m,96$ de largeur totale, pour les trains qui seront remorqués à l'aide d'une machine fixe, et deux voies charretières de $5^m,33$ de largeur.

Le tableau suivant résume les principales données relatives aux trois plus grands ponts suspendus construits pour chemins de fer ou tramways en Amérique.

---

1. La « Pittsburg Bridge Cy » vient de passer un marché pour remplacer en acier toutes les pièces de bois du tablier du pont suspendu sur le Niagara. Il ne restera plus en bois que le platelage (*plank flooring*) et les traverses. Le pont sera ainsi allégé de 200 tonnes environ.

1° *Données générales.*	PONT du NIAGARA.	PONT SUR L'OHIO à Cincinnati.	PONT SUR L'EAST RIVER à New-York.
Époque de la construction.......	1851 à 1855	1867	1873-1879
Longueur { de la travée principale	250^{m}	322^{m}	$486^{m},3$
Longueur { des travées latérales.	—	90^{m}	$283^{m},5$
Longueur { des rampes d'accès.	—	—	296 et 476
Largeur totale................	$7^{m},30$	$10^{m},98$	$25^{m},92$
Hauteur libre au-dessus des basses eaux..................	67^{m}	$30^{m},50$	$25^{m},92$
Poids propre du tablier { par mèt. courant.	$3,000^{k}$	$3,300^{k}$	$10,000^{k}$
Poids propre du tablier { par mètre carré de surface utile.	235^{k}	300^{k}	417^{k}
Charge roulante { par mèt. courant.	$2,500^{k}$	$1,650^{k}$	$3,300^{k}$
Charge roulante { par mètre carré de surface......	172^{k}	150^{k}	$137^{k},5$
Poids des câbles par mètre courant......................	$1,500^{k}$	$1,000^{k}$	$2,826^{k}$
Poids total par mètre courant...	$7,000^{k}$	$5,950^{k}$	$16,126^{k}$
2° *Câbles de suspension.*			
Métal employé................	Fil de fer.	Fil de fer.	Fil d'acier.
Nombre de câbles principaux....	4	2	4
Flèche verticale..............	20 et 16,25	27	39
Rapport de la flèche à l'ouverture.	1/12 et 1/15	1/8.5	1/12.5
Inclinaison du plan des câbles sur la verticale.............	1/6	1/7	1/20
Hauteur des points de suspension au-dessus du tablier..........	$24^{m},40$	$39^{m},65$	42^{m}
Diamètre des câbles principaux..	$0^{m},254$	$0^{m},313$	$0^{m},400$
Nombre { de câbles élémentaires.	49	7	19
Nombre { de fils dans chaque câble élémentaire.....	19	370	331
Nombre { total de fils par câble principal..........	931	2590	6289
Diamètre des fils.............	$3^{mm},4$	$3^{mm},4$	$4^{mm},3$
Poids du mètre courant de fil...	$0^{k},085$	$0^{k},085$	$0^{k},106$
Section de l'ensemble des fils...	$1,560^{cq}$	$1,078^{cq}$	$3,450^{cq}$
Tension des câbles au point le plus bas..................	$3,062^{t}$	$2,874^{t}$	$11,490^{t}$
Tension maxima par mm²..........	$19^{k},6$	$26^{k},7$	$33^{k},3$
Tension par mm², due au poids propre..................	$12^{k},6$	$19^{k},5$	26,5
Limite de résistance à la rupture par mm²..................	$70^{k},0$	$71^{k},0$	$112^{k},5$
Limite d'élasticité par mm².....	$35^{k},2$	$35^{k},3$	$52^{k},8$
Coefficient de sécurité..........	3,57	2,66	3,38

3° *Haubans.*	PONT du NIAGARA.	PONT SUR L'OHIO à Cincinnati.	PONT SUR L'EAST RIVER à New-York.
Nombre de haubans correspondant à chaque demi-câble.....	8	20	35
Longueur moyenne............	52^{m}	64^{m}	95^{m}
Fraction de la longueur du tablier non soutenue par les haubans.	0,40	0,45	0,34
4° *Câbles de retenue.*			
Nombre.....................	56	»	»
Section totale.................	600^{cq}	1,177^{c}	1,681^{cq}
Tension maxima par mm²......	13^{k}	12^{k}	17^{k}
Limite de résistance à la rupture.	35^{k}	35^{k}	56^{k}

Pont suspendu rigide de Point bridge (pl. XIV). — Un pont, qui se rattache à la classe des ponts suspendus portant des voies ferrées, vient d'être construit à Pittsburg sur la Monongahela, près de son confluent avec l'Alleghany.

Ce pont dit « *Point bridge* » présente une travée principale de 244 mètres et deux travées latérales de 44^{m},23 chacune.

Le tablier du pont est porté par des chaînes constituées par des barres à œil qui passent sur des tours métalliques élevées de 54,^{m}9 au dessus du niveau des basses eaux et dont la courbe offre une flèche de 26^{m},84. Le tablier, de 10^{m},37 de largeur totale, porte sur la voie carrossable qui a 6^{m},40 de largeur, deux voies pour tramways et de chaque côté un trottoir de 1^{m},80.

Pour résister aux déformations occasionnées par le passage des charges roulantes, on a disposé au dessus de chaque chaîne deux entraits métalliques, partant chacun de son milieu pour aboutir au sommet des tours, et reliés à la chaîne par un système de bielles et de diagonales, en sorte que chaque ferme a l'aspect d'un double segment parabolique présentant trois articulations, une au milieu et deux aux extrémités.

Les deux entraits n'ont été reliés par l'articulation qui les unit au milieu de la chaîne, qu'après la mise en place de toutes les pièces du tablier, de manière à ne faire travailler les pièces droites des fermes que sous l'action des charges roulantes.

On s'est en outre préoccupé de prévenir l'influence des variations de température et de l'action du vent sur le tablier et sur les fermes de suspension.

Le tablier est directement porté par des fermes du système Pratt de 2^{m},40 de hauteur, dont les semelles supérieure et inférieure portent de place en place des joints à emboîtement, laissant un certain jeu entre les abouts des pièces contiguës, et des bielles, reliées au travers et au-dessus du pont par des entretoises et des croix de Saint-André, empêchent le tablier de se relever, en s'arc-boutant contre les fermes de suspension. En outre, des câbles de forme parabolique relient chaque ferme avec les avant et arrière becs du côté opposé.

Enfin les tours couronnant les piles portent des chariots de galets (fig. 8 et 9, pl. XIV), permettant le libre déplacement des points de suspension des fermes.

Le pont a été calculé pour une charge roulante de 2.400^{k} par mètre courant : le travail maximum des chaînes ne dépasse pas 8^{k},7 par millimètre carré ; il varie de 6 à 7 kilogrammes pour les tiges de suspension. L'effort maximum de compression dans les tours métalliques est de 6^{k},50, par millimètre carré.

Les épreuves auxquelles a été soumis ce pont, livré à la circulation le 30 mars 1877, ont été des plus satisfaisantes. Une charge roulante de 482 tonnes, réalisée par de lourds chariots en convoi et correspondant à une charge de 2000 kilogrammes par mètre courant, n'a produit sur la travée qu'un abaissement de 0^{m},102, soit 1/2400 de la portée.

La charge concentrée sur la moitié de la longueur a produit d'un côté un abaissement de 0^{m},07 et de l'autre un relèvement de 0^{m},028.

Les oscillations au passage de la charge n'ont pas dépassé 1^{mm},6 dans le sens longitudinal et 7^{mm},9 dans le sens transversal au milieu de la portée. L'efficacité des deux systèmes de contreventement a été ainsi pleinement démontrée.

PONTS PAR DESSUS LA VOIE.

Les ponts par dessus la voie sont relativement rares en Amérique où les chemins de fer ont le plus souvent devancé les autres voies de communication. Ceux que l'on rencontre sont établis dans les

divers systèmes précédemment décrits pour les ponts supportant la voie.

La largeur libre sous ces ponts varie en général de 3 mètres à 4m,60 pour une voie, et de 7 mètres à 8m,80 pour deux voies.

Quant à la hauteur libre, nous avons déjà eu occasion de dire que, généralement supérieure à celle dont on se contente en Europe, elle se réduisait à 4m,19 sur certains points par suite de sujétions spéciales.

Il n'existe point de règle pour les surcharges à faire supporter à ces ponts. Les ingénieurs de Phénixville admettent par mètre courant de voie charretière unique un poids de 2300 à 4000 kilogrammes.

D'après le projet de loi récemment présenté à la législature de l'État d'Ohio pour réglementer la construction des ponts dans l'intérêt de la sécurité publique, les surcharges devraient être calculées de la manière suivante eu égard aux portées :

PORTÉE.	SURCHARGE PAR MÈTRE CARRÉ.	
	PONTS à grande fréquentation.	PONTS à faible fréquentation.
Jusqu'à 9 mètres.	537 kilogr.	488 kilogr.
De 9 mètres à 15 mètres.	488 »	439 »
De 15 » à 22 »	439 »	391 »
De 22 » à 30 »	390 »	366 »
De 30 » à 61 »	366 »	292 »
De 61 » à 122 »	31 7	244 »

On s'attache beaucoup plus, dans les ponts supérieurs, à dégager la voie, qu'à réduire l'ouverture totale à franchir, pour économiser sur les poutres du pont. Les culées, placées au sommet des talus de la tranchée, à laquelle on conserve son profil normal, sont réduites à quelques assises de maçonnerie.

Les figures 1 à 4, de la planche XV, reproduisent les divers types de la Compagnie de Phénixville pour les ponts franchissant une double voie. Cette Compagnie emploie aussi fréquemment la ferme Linville, sans supports intermédiaires.

La ferme du système *Bowstring*, peu employée pour les ponts supportant la voie, parce qu'elle se prête mal à l'emploi de pièces

et d'assemblages d'un type uniforme, ainsi qu'au contreventement transversal, a reçu quelques applications dans la construction des ponts par dessus les voies ferrées, à l'instar de ce qui s'était déjà fait sur le canal Erié où ses applications ont été assez nombreuses.

Ponts du Philadelphia-Reading R. R. — Certaines compagnies, en particulier celle de Philadelphia-Reading, adoptent aujourd'hui un type intermédiaire entre le Bowstring et la ferme à semelles parallèles.

Les figures 17 à 23, de la planche XV, sont relatives à un pont de ce système, de $15^m,86$ de portée.

Les poteaux verticaux, reliés entre eux et avec les deux semelles par des tirants verticaux, sont en fonte; la semelle supérieure est en fer à double T; la semelle inférieure est formée par des fers plats, s'engageant latéralement dans les embases des poteaux verticaux.

Ponts sur le Pennsylvania R.R. — En 1876, l'extension du réseau des voies de la Compagnie des chemins de fer de Pennsylvanie aux abords du parc de l'Exposition a donné lieu, à Philadelphie, à la construction d'un certain nombre de ponts établis suivant plusieurs types différents pour le passage des rues au-dessus de la voie.

Un de ces ponts sur lequel se croisent à angle droit deux rues, Belmont et Girard avenues, est établi dans des conditions analogues au pont de la place de l'Europe à Paris. Sa plus grande longueur est de $109^m,80$, sa plus grande largeur, de $91^m,59$; il livre passage à onze voies.

Ce pont repose sur des culées en maçonnerie et sur une série de colonnes en fer laminé placées dans les entrevoies.

Le tablier est formé par des poutres en tôle rivée, supportant des entretoises en fer laminé; des plaques de tôle en forme de pyramides aplaties garnissent les vides entre les entretoises et les poutres, et portent le pavage de la chaussée.

Un deuxième pont, situé dans le prolongement de la quarante-unième rue, est biais et présente dans la direction du biais une portée de 64 mètres. Ce pont, de 18 mètres de largeur, est porté par des fermes du système Pettit, précédemment décrites (fig. 1 à 8, pl. VIII).

Pont du système Ordish. — Pour un autre pont construit au passage de la quarantième rue, on a adopté le pont suspendu du système Ordish. Le pont comprend une travée centrale de $57^m,34$ de portée et deux travées latérales de $21^m,05$ chacune, livrant passage

à vingt-deux voies, dont le niveau est à $5^m,25$ au-dessous du tablier. Il a, comme le précédent, 18 mètres de largeur, dont 12 mètres de voie charretière (fig. 5 à 16, pl. XV).

Les tours, de 18 mètres de hauteur, qui portent les câbles de suspension, sont construites en fer laminé. Chaque câble n'est attaché au tablier qu'à l'extrémité de celui-ci et au milieu de la travée centrale. Au-dessous de la croupière, disposée au sommet de la tour pour le supporter, est une seconde croupière pour les haubans. Toutes deux reposent sur des galets destinés à prévenir les efforts de flexion dans les tours sous l'action des surcharges et des variations de température.

Le tablier est porté par deux poutres longitudinales formées de quatre cours parallèles de fers en U auxquelles les entretoises sont suspendues. Ces poutres, auxquelles viennent s'attacher, en des points également espacés, les haubans formés par des barres de fer plat, sont tenues à leurs extrémités vers les culées par des tirants verticaux scellés dans la maçonnerie. Ces tirants, qui ne supportent jamais que de très faibles efforts de traction, sont percés d'un œil allongé à leur articulation avec les poutres, ce qui permet à celles-ci de s'allonger et de se raccourcir librement.

Pont de Callowhill à Philadelphie. — Parmi les ponts franchissant des voies ferrées, on peut encore citer dans la même ville, le pont de Callowhill qui donne passage, à travers la rivière de Schuylkill à deux voies carrossables, munies de tramways placés à des niveaux différents; l'un de ces tramways passe par-dessus les voies du Pennsylvania R.R., l'autre, par-dessous. Ce pont est construit dans le système Linville.

Il présente une travée principale de $106^m,75$ à la traversée de la rivière, précédée à l'est de cinq travées formant une colonnade de $24^m,40$ de longueur et d'une travée de 32 mètres pour le passage de Callowhill street, et suivie à l'ouest de dix ouvertures formant une autre colonnade de $70^m,15$ de longueur, d'une travée de $27^m,45$ au-dessus de la trentième rue, puis de sept travées de $91^m,45$ d'ouverture totale, et d'une dernière travée de $42^m,70$ traversant le chemin de fer de Pennsylvanie.

La longueur totale du pont est de 395 mètres.

La voie supérieure est à $9^m,76$ au-dessus de la voie inférieure.

La voie supérieure a $14^m,65$ de largeur; elle comprend deux trottoirs de $2^m,45$ chacun, et une voie charretière de $9^m,75$.

La voie inférieure a $15^m,25$ de largeur, avec trottoirs et voie charretière disposés de la même manière.

Ponts du Cincinnati-Southern R.R. — Sur le Cincinnati-Southern R.R., la plupart des ponts par-dessus la voie ont été construits en bois avec une hauteur libre minima sous poutres de 18′ 6″ ($5^m,64$).

On a généralement conservé aux tranchées, au droit de ces ponts, leur profil normal. La portée totale des ponts est divisée par deux lignes de poteaux en trois travées de 7 mètres à $7^m,50$: la largeur libre varie entre les garde-corps de $3^m,30$ à $6^m,10$; quelques-uns seulement sont munis de trottoirs.

Les tabliers de ces ponts sont constitués suivant le cas par des poutres armées ou par de simples longrines supportant des traverses et un platelage : les bois employés sont principalement le pin blanc et le pin jaune.

Les culées ont été établies en maçonnerie à pierres sèches pour quelques-uns de ces ponts, et avec mortier de ciment pour le plus grand nombre.

En raison du peu d'importance de ces ouvrages, l'infrastructure et la superstructure en ont été généralement réunies dans une seule entreprise, contrairement à la règle ordinairement suivie par la Compagnie, de passer des marchés séparés pour les deux parties de la construction.

Le prix d'un de ces ponts, d'une largeur moyenne de $4^m,10$, et de 22 mètres d'ouverture totale, se décompose ainsi qu'il suit :

Superstructure comprenant :	$31^{m3},40$ de bois. 315 kil. de fer.	2435 fr.
Maçonnerie en moellons appareillés, cubant $34^m,50$	....	2484
	Ensemble.....	4919 fr.

Nous donnons ci-après la liste d'un certain nombre de ces ouvrages, empruntée au compte rendu de la Compagnie pour 1877.

EMPLACEMENT de L'OUVRAGE.	LONGUEUR totale du PONT.	LARGEUR LIBRE entre garde-corps.	HAUTEUR libre au-dessus des RAILS.	NOMBRE de TRAVÉES.	CUBE de BOIS.	POIDS de FER.	CUBE de MAÇONNERIE.	DÉPENSE. pour la super-structure.	DÉPENSE. pour les maçonneries.	DÉPENSE. TOTALE.
	m.	m.	m.		m³.	kil.	m³.	fr.	fr.	fr.
Dry Creek turnpike........	21,55	4,77	5,80	3	35,00	265	42,00	2,632	2,397	5,029
Timber Lake crossing......	22,90	2,64	5,80	3	12,40	130	1,00	957	59	1,016
Independence Turn pike....	22,90	4,72	5,80	3	35,00	247	60,00	2,483	8,243	10,726
Carpenter's crossing........	23,73	2,64	5,80	3	13,80	147	2,20	1,117	102	1,219
Covington et Lexington tp..	23,20	6,10	5,80	3	43,00	447	80,30	4,148	7,708	11,856
High street Walton.........	22,25	4,77	5,80	3	24,00	195	50,00	2,483	4,446	6,929
Covington et Lexington tp...	23,20	6,10	5,80	3	43,00	323	39,00	3,201	1,868	5,069
» » ...	22,65	4,77	5,80	3	37,65	350	33,00	2,362	2,200	4,562
Mill street.................	22,00	6m,10 avec trottoirs de 1m,20	6,70	3	64,80	282	57,50	3,021	4,024	7,045
Covington et Lexington Road.	22,30	4,77	6,50	3	36,60	205	31,70	3,070	2,087	5,157
» » »	19,30	4,11	5,80	3	31,40	350	34,50	2,435	2,484	4,919
» » »	22,20	4,16	5,80	3	31,40	315	16,50 (béton)	2,407	1,764	4,171
» » »	22,20	4,11	5,80	3	31,40	315	62,00	2,407	3,753	6,160
» » »	21,90	4,11	7,11	3	32,70	315	38,70	2,498	2,790	5,288
» » »	21,05	3,30	6,86	3	27,60	270	33,00	2,646	2,053	4,699
Mulberry.................	20 90	3,50	6,62	3	28,80	270	33,00	2,745	2,053	4,798
Leesburgh et Stonewall.....	24,45	3,50	11,71	3	36,80	364	36,00	2,866	2,156	5,022

VIADUCS EN BOIS (*Trestles*).

Nous avons déjà vu que pour réduire le capital de premier établissement et pour raccourcir la période d'exécution des travaux, improductive pour ce capital, les ingénieurs américains cherchaient à diminuer le plus possible les terrassements, et qu'ils étaient ainsi conduits, pour éviter les tranchées, à relever généralement le niveau de la voie. Pour racheter la surélévation de la plate-forme au-dessus du terrain naturel, ils substituent le plus souvent à des remblais, qui paraîtraient d'une hauteur fort modérée en Europe, des estacades en charpente (*Trestles*), destinées à être plus tard noyées dans des remblais quand l'établissement de la voie en aura rendu l'exécution plus facile. Pour de plus grandes hauteurs, ces estacades, dont le caractère commun est d'être constituées par des palées équidistantes, séparées par de courts intervalles, font place ultérieurement à des viaducs métalliques, si les produits de l'exploitation le permettent.

La cherté de la main-d'œuvre des terrassements et le bon marché relatif des bois concourent avec l'intérêt qu'on attache à la prompte mise en exploitation de la voie ferrée à faire préférer le plus souvent les estacades aux remblais qui seraient à exécuter au moyen d'emprunts, dès que la hauteur à racheter atteint 4 mètres. On compte habituellement que, pour une estacade de 9 mètres de hauteur, la dépense n'est que la moitié de celle qu'entraînerait un remblai de même hauteur.

Ce système de construction qui paraît avoir été pratiqué tout d'abord dans les Etats du Sud pour traverser des terrains marécageux, a été de plus en plus appliqué partout à mesure que les chemins de fer se sont multipliés et que les Compagnies ont été poussées, par l'aiguillon de la concurrence et par la hausse croissante du loyer des capitaux, à hâter par tous les moyens possibles l'ouverture des nouvelles lignes.

Dans les viaducs en bois de faible hauteur, les portées entre les palées ne dépassent pas 4 mètres, quand le tablier est supporté par de simples longrines reposant directement sur les palées.

Ces palées reproduisent le plus souvent, pour les hauteurs de 3 mètres à 6 mètres, le type représenté par les figures 9 à 12 de la

planche XVI, que l'on rencontre sur un grand nombre de points de l'Union-Pacific.

Le type représenté par les figures 3 et 4 de la planche XVI, est emprunté au Philadelphia et Reading R.R., où il a été appliqué à des hauteurs comprises entre 6 et 14 mètres, et où il résiste à un très lourd trafic.

Pour de plus grandes hauteurs, comprises entre 10 mètres et 20 mètres, les figures 1, 2, 6, 7 et 8 de la planche XVI, reproduisent les types les plus usités; dans l'un, qui appartient au Central-Pacific, l'élévation des palées atteint $15^{m},50$; les poutres longitudinales du tablier, qui ont des portées de $4^{m},90$, sont formées de deux pièces assemblées au moyen d'un second cours de traverses formant clés; les palées sont en outre reliées par trois étages de moises longitudinales espacées verticalement de $3^{m},75$ à 4 mètres.

Dans un autre type (fig. 1 et 2), emprunté au Louisville, Cincinnati et Lexington R.R., où la hauteur du tablier est de 17 mètres au-dessus du sol, les longrines sont soutenues par des contrefiches et des sous-poutres, ce qui permet d'espacer davantage les étages de moises.

Suivant les cas, les palées reposent, soit sur des socles en maçonnerie d'une faible hauteur, soit sur des semelles portées par des blocs en bois ou par des pieux en nombre variable. Il suffit par palée de quatre pieux, ayant chacun $0^{m},30$ de diamètre, pour que les charges permanente et roulante, évaluées, l'une à 3 tonnes, l'autre à 10 tonnes par mètre courant de voie, ne dépassent pas 23 kilogrammes par centimètre carré de surface de pieu pour une estacade de 15 mètres de hauteur, avec palées distantes de 5 mètres.

Les estacades sont habituellement enracinées à leurs extrémités dans le talus du sol naturel ou du remblai; on se contente de régulariser l'un ou l'autre talus, sans qu'il soit besoin de construire de culée en maçonnerie.

Pour les viaducs en bois et en métal, quand les culées sont en maçonnerie, chaque culée présente habituellement en plan la forme d'un T.

Le corps du T, qui se prolonge jusqu'à la naissance du talus, et qui est parfois évidé par une arche, se réduit à l'épaisseur nécessaire pour porter la voie, qui est le plus souvent simple; à son autre extrémité, le massif de maçonnerie s'élargit pour porter les extrémités des fermes de la première travée. On n'a recours au murs en aile

que quand il s'agit de protéger contre l'action des eaux les talus aux extrémités du viaduc.

Dans les estacades de grande hauteur exposées à des ouragans violents, on consolide les palées au moyen de tirants ou de haubans en fer reliant le sommet de chaque palée au pied d'une autre palée suffisamment éloignée; c'est ce qui avait été fait par exemple pour le viaduc du Dale Creek sur l'Union-Pacific, remplacé depuis peu par un viaduc métallique (fig. 14 à 19, pl. XVIII).

Les estacades de faible hauteur sont ultérieurement remblayées, ainsi qu'il a été dit plus haut, avec des terres d'emprunt que l'on extrait le plus souvent à l'aide de la drague (*excavator* ou *steam shovel*) le long de la ligne. On se contente d'enlever préalablement les pièces qui pourraient contrarier le tassement, et l'on conserve les chapeaux et les longrines jusqu'à ce que ce tassement se soit complètement opéré.

Grand viaduc en bois de Portage. — Le plus haut viaduc qui ait été construit en bois dans l'Amérique du Nord est celui de Portage, au passage du Genessee-River, sur le chemin de fer de l'Érié, et établi, de 1851 à 1852, par M. Silas Seymour. Cet ouvrage, incendié en 1875, a été remplacé par un viaduc métallique (fig. 4, 5 et 6, pl. XVIII).

Ce viaduc en bois comprenait quatorze palées, espacées de $15^{m},25$ d'axe en axe, implantées sur des socles en maçonnerie de 9 mètres de hauteur, et s'élevant à 69 mètres au-dessus du niveau de la rivière. Il était divisé en cinq étages par quatre rangs de moises longitudinales reliant les piles, composées chacune de trois palées. Indépendamment des croix de Saint-André servant à trianguler dans les deux sens l'intérieur des palées, des contre fiches prolongeant les bras des croix placées longitudinalement consolidaient les angles formés par les moises longitudinales avec les poteaux des palées.

La voie ferrée était supportée par des fermes du système Howe, de $4^{m},20$ de hauteur. Les plus grandes palées avaient $7^{m},50$ de largeur au sommet, $22^{m},50$ à la base et 57 mètres de hauteur.

La construction de ce gigantesque viaduc, dont toutes les pièces étaient disposées de manière à pouvoir être enlevées et remplacées sans compromettre sa stabilité, achevée en dix-huit mois, avait coûté 700 000 francs; elle avait absorbé 3390 mètres cubes de bois et 60 tonnes de fer. Le bois employé ressortait environ à $0^{mc},63$ par mètre carré de surface d'élévation.

Pour les viaducs en bois de faible hauteur (de 7 mètres à 15 mètres), avec palées espacées de 4 à 6 mètres, le cube de bois employé par mètre superficiel d'élévation ressort de $0^{mc},16$ à $0^{mc},30$, qu'il faut compter au prix de 100 à 125 francs le mètre cube mis en place, suivant qu'on se trouve plus ou moins rapproché des forêts et des voies navigables qui servent à en transporter les produits. Nous donnons ci-après les prix de revient et les cubes de bois employé pour un certain nombre de viaducs de la ligne du Cincinnati-Southern qui est construite, comme on le sait, pour une seule voie de $1^{m},53$.

Viaducs en bois du Cincinnati-Southern R. R.

EMPLACEMENT.	HAUTEUR		LONGUEUR.	PORTÉE.	BOIS employé par mètre carré d'élévation.	FER employé par mètre carré d'élévation.	PRIX de la superstructure par mèt. carré d'élévation.
	MAXIMA.	MOYENNE.					
	m.	m.	m.	m.	m.³	kil.	fr.
Rampe précéd. le pont sur l'Ohio.	2,40	1,20	185,0	4,5	1,33	30,0	77,00
» après le » » »	10,00	5,75	189,0	4,5	0.17	8,3	42,00
Sandford et Hustonville........	8,90	8,60	59,0	6,0	0,30	6,5	28,00
South fork of Green River......	18,75	12,00	192,0	6,0	0,24	5,4	23,00
Sinking Creek (division D)......	11,80	9,40	72,1	6,0	0,34	7,6	34,00
» (division E)......	10.60	7,90	91,5	6,0	0,27	6,5	23,00
» (division E *bis*)...	16,40	12,20	158,6	6,0	0,23	5,8	18,00
Appletree branch..............	16,55	12,10	91,5	6,0	0,22	5,5	19,00

Les viaducs en bois, qui ont sur les remblais l'avantage d'être très économiques, de se prêter à une exécution rapide, de ne pas charger le sol, et de ne point faire obstacle à l'écoulement des eaux dans les vallées torrentielles où leur régime est encore complètement inconnu, n'ont pas peu contribué à l'extension rapide du réseau des voies ferrées, qui, grâce à ce moyen, ont pu être établies à peu de frais sur le bord des lacs, à travers les parties submersibles des vallées, et les estuaires des plus grands fleuves. Nous citerons parmi ces viaducs les estacades prolongeant la plupart des grands ponts jetés sur le Mississipi et le Missouri; celles qui, sur le chemin de fer de Philadelphia, Wilmington et Baltimore, franchissent l'embouchure de la Susquehanna; celles encore, qui sur le chemin de fer de Mobile à la Nouvelle-Orléans, traversent avec des

parcours de plusieurs kilomètres de véritables bras de mer; celles enfin, qui sur la ligne de Chicago et North-Western, aux abords de Madison dans le Wisconsin, se développent sur 5 kilomètres de marais, où l'on a dû, en plusieurs points, battre à 35 mètres de profondeur les pilots supportant les palées.

Dans ce dernier viaduc, les palées ont dû en partie être renforcées par des étais s'appuyant sur des faisceaux de pilots au nombre de 4 à 9 par groupe, reliés par des chaînes.

Malheureusement le dépérissement des bois et surtout les chances d'incendie auxquels les viaducs en charpente sont exposés, malgré les précautions et la surveillance dont ils sont l'objet, en abrègent beaucoup la durée, et conduisent les Compagnies, dès qu'elles en ont le moyen, à les remplacer par des constructions d'une existence moins précaire pour échapper au danger d'interruption sous la menace duquel l'exploitation de leurs lignes se trouve placée tant que ce remplacement n'a pas eu lieu.

De plus, ainsi que le remarque M. Bouscaren, ingénieur en chef du Cincinnati-Southern, dans son rapport sur la situation de cette ligne à la fin de 1877, lorsque le système de construction en bois entraîne des difficultés particulières d'exécution et de surveillance, et que la rigidité des ouvrages peut être considérée comme essentielle, comme c'est le cas pour les viaducs de grande hauteur et de grande portée, l'adoption du fer devient presque indispensable pour satisfaire aux exigences de la sécurité.

VIADUCS MÉTALLIQUES.

L'exécution des viaducs métalliques a pris, surtout dans ces dernières années, un développement considérable, qui a coïncidé comme la construction des ponts en fer avec le nouvel essor pris par toutes les industries qui se rattachent à l'établissement des chemins de fer.

Ces viaducs peuvent se diviser en deux classes : 1° celle des viaducs à faibles portées, (*Iron trestles*) dont les dispositions générales reproduisent celles des estacades en bois, 2° celle des viaducs à grandes portées, se rapprochant plus ou moins des viaducs métalliques européens.

Nous passerons successivement en revue ces deux classes de viaducs.

Viaducs à faibles portées (*iron trestles*).

Les premiers viaducs métalliques paraissent avoir été exécutés en fonte. On rencontre encore sur la ligne du Baltimore et Ohio deux viaducs, situés dans la vallée du Cheat River, construits en fonte en forme de petites arches que supportent des piliers disposés en éventails et partant trois à trois d'un même socle.

Aujourd'hui on n'emploie plus que le fer : les viaducs sont habituellement formés de palées équidistantes, espacées de 8 à 10 mètres. Le tablier est porté par des poutres armées établies presque toujours dans le système Fink, et les arbalétriers des palées consistent en colonnes en fer laminé du type de Phénixville ou en poutres en forme de caissons dont deux côtés sont constitués par des treillis.

Ces arbalétriers, qui sont habituellement inclinés à 1/8 sur la verticale dans le plan vertical normal à la longueur du viaduc, sont reliés, quand leur hauteur est un peu considérable, en divers points de leur hauteur, transversalement et longitudinalement, par des entraits de même forme qu'eux, et par des barres en fer rond formant croix de Saint-André.

Afin d'atténuer les déformations qui pourraient résulter de l'action des variations de température sur les ventrières longitudinales, reliant toutes les fermes des palées, on a d'abord pris le parti d'employer le bois pour ces pièces, à l'exclusion du fer.

Viaducs aux abords du pont de Saint-Charles. — C'est ce qui a été fait, par exemple, pour les deux viaducs qui prolongent sur les deux rives du Missouri le pont de Saint-Charles, précédemment décrit.

Dans ces viaducs qui ont des longueurs, l'un, de 880 mètres l'autre, de 435 mètres, les palées, d'une hauteur moyenne de $12^{m},20$, sont espacées de $9^{m},67$ d'axe en axe. Les moises longitudinales intermédiaires, ainsi que les semelles du tablier, sont en bois.

Les manchons en fonte formant les têtes des arbalétriers, et ceux qui reçoivent les entraits transversaux en fer à T, portent à cet effet des feuillures où s'adaptent les abouts des pièces de bois (fig. 15 à 21 pl. XVII).

La fondation de ces viaducs, en raison de la mauvaise qualité du sol (sables bouillants), a présenté des difficultés particulières. Les

palées sont établies sur des massifs cylindriques de béton de $0^m,90$ de diamètre ayant une profondeur variant de 3 mètres à 6 mètres que l'on a ultérieurement noyés dans une digue de la même hauteur. On a calculé que la charge sur les fondations était ainsi réduite à $0^k,90$ par centimètre carré. La dépense de ces viaducs s'est établie ainsi qu'il suit :

	VIADUC DE 880 MÈTRES (RIVE DROITE DU MISSOURI).		VIADUC DE 435 MÈTRES (RIVE GAUCHE DU MISSOURI).	
	DÉPENSE		DÉPENSE	
	par mètre courant.	par mètre carré d'élévation.	par mètre courant.	par mètre carré d'élévation.
Fondations..........	88 fr.	7 fr. 30	107 fr.	8 fr. 70
Terrassements........	310 »	80 30	100 »	57 30
Superstructure.......	386 »	31 60	428 »	35 80
Totaux...		119 fr. 20		101 fr. 80

Viaduc de Lyon Brook. — Dans un autre viaduc construit par la même Compagnie de construction (Baltimore Bridge C^y), à Lyon Brook, pour le passage du New-York et Oswego Midland R.R., où la hauteur des palées au-dessus des socles atteint 36 mètres, les palées, au nombre de vingt-quatre, sont écartées de trente pieds ($9^m,15$), sauf pour une grande travée centrale dont la portée est de $30^m,50$. On y rencontre les mêmes dispositions que dans le précédent, sauf que, dans les piles que sépare la grande travée, les ventrières en bois sont remplacées par des pièces métalliques, et que le système des tirants en diagonale embrasse deux intervalles de palées au lieu d'un seul. Les arbalétriers comme les entraits sont d'ailleurs constitués par des colonnes en fer laminé de Phénixville.

La superstructure de ce viaduc est revenue en totalité à 220 320 francs, ce qui fait ressortir le mètre carré d'élévation à 35 francs, chiffre s'écartant peu de celui que nous avons indiqué pour le viaduc précédent.

La construction de ce viaduc, qui n'a pas coûté plus cher que

n'aurait coûté un remblai de hauteur moyenne avec un pont de faible hauteur dans le système Howe, a eu l'avantage de permettre un relèvement du niveau de la voie, qui a évité un souterrain très dispendieux.

Dispositions prises pour combattre les effets de la dilatation dans les viaducs entièrement métalliques. — La difficulté résultant de la dilatation longitudinale des fermes a été résolue dans les viaducs les plus récents, construits en totalité en fer, en interrompant la continuité des pièces longitudinales.

Les palées du viaduc forment ainsi une série de piles, comprenant suivant les cas, un, deux ou trois intervalles, et séparées par des travées où l'entretoisement longitudinal est supprimé. L'intervalle entre les palées est presque toujours de 30 pieds ($9^m,15$), et la hauteur du poinçon de la poutre armée, de 1/5 de cette portée.

On s'attache à maintenir le parallélisme des palées composant chaque pile, en laissant un seul des arbalétriers complètement fixe, et les autres libres de glisser sur leurs bases; les trous servant au passage des boulons qui fixent les pieds des arbalétriers aux socles en maçonnerie sont à cet effet ovalisés.

D'autre part, les semelles longitudinales supportant le tablier sont formées de pièces laissant entre elles un certain jeu, et susceptibles de glisser à l'une de leurs extrémités sur les têtes des arbalétriers qui les supportent; enfin, dans les assemblages qui fixent les longrines en bois portant les traverses de la voie sur les entretoises, les boulons sont aussi susceptibles d'un certain jeu, qui rend possibles les variations de longueur et la flexion de la poutre armée portant les longrines, sans entraîner d'effort additionnel dans aucune pièce. Les fig. 3 à 13, pl. XVII, empruntées aux dessins types du Cincinnati-Southern R.R., indiquent les détails de ces assemblages.

Viaducs construits par l'usine de Phénixville. — Parmi les viaducs entièrement métalliques à faibles portées, nous citerons le viaduc de Rapallo sur la ligne de Newhaven, Middleton et Willimantic, construit pour deux voies en rampe de $0^m,011$ par l'usine de Phénixville. Ce viaduc comprend quarante-cinq travées d'une hauteur qui varie entre 9 mètres et 18 mètres. Chaque palée est composée de trois arbalétriers dont les deux extrêmes présentent un fruit transversal de 1/8, et elle offre au sommet une largeur de $5^m,10$. Chaque pile est composée de trois palées, et deux piles consécu-

tives laissent entre elles un intervalle libre d'une travée. Cette disposition est évidemment plus favorable à la stabilité que celle qui consiste à composer les piles de deux palées seulement; les efforts de traction susceptibles de se développer dans les arbalétriers, par suite d'efforts horizontaux s'exerçant sur la longueur du tablier, se trouvent ainsi diminués de 1/4, ainsi que les efforts dans les tirants en diagonale.

Pour les viaducs à voie unique et à faibles portées qu'elle construit, la Compagnie de Phénixville admet un poids roulant de 6 tonnes par mètre courant, et un poids de métal de 360 kilogrammes par mètre linéaire de superstructure compté horizontalement, que l'on augmente eu égard à la hauteur des piles, en suivant la progression ci-après :

HAUTEUR.	POIDS ADDITIONNEL par mètre courant SUIVANT LA HAUTEUR.
9^m,15	240 kilogrammes.
15 ,25	420 »
22 ,88	690 »
30 ,50	1,000 »
36 ,60	1,245 »
45 ,75	1,350 »
53 ,38	1,800 »
61 ,00	2,250 »

Pour deux voies, on admet un poids double de superstructure horizontale, et on multiplie par 1,9 le poids additionnel par mètre de hauteur.

Il s'ensuit que le poids total de fer à employer dans un viaduc de 30^m,50 de hauteur et de 100 mètres de longueur à deux voies serait :

$$100 \{ 2 \times 360^k + 1.9 \times 1000^k \} = 262{,}000^k.$$

Viaducs du Cincinnati-Southern R. R. — Dans les viaducs à faibles portées du Cincinnati-Southern, dont nous avons déjà eu occasion de parler, et dont les dispositions générales (fig. 1, pl. XVII) ne s'écartent pas de celles que nous venons de décrire, les travées complétement libres alternent avec les travées entretoisées; toutes les pièces devant résister à la compression sont constituées par des

pièces en tôle rivée, en forme soit de double T, soit de caissons; ces caissons sont à faces pleines ou à treillis. Indépendamment des dispositions que nous avons précédemment indiquées en vue de faciliter les mouvements dûs aux dilatations, et qui laissent chaque pile, considérée isolément, libre de s'allonger ou de se contracter horizontalement dans deux sens en maintenant un seul arbalétrier fixe, on a pris soin, pour éviter le choc qui tend à se produire à l'arrivée des trains sur le viaduc, d'intercaler entre les deux dernières travées une palée articulée à sa base; la dernière travée forme une sorte de pont-levis entre cette palée et la culée, sur laquelle des sommiers engagés à leurs extrémités dans le remblai, servent à amortir le choc des trains (pl. XVII, fig. 2).

Le poids du fer employé dans les viaducs du Cincinnati-Southern dont la hauteur varie entre 6 mètres et 27 mètres a été calculé approximativement, par mètre courant de longueur horizontale de tablier et par mètre courant de hauteur de palée, comme il suit:

Si l'on désigne par :

p le poids en kilogrammes par mètre courant du tablier;

q le poids en kilogrammes par mètre de hauteur des palées;

l la longueur totale;

s la somme des hauteurs des palées;

le poids P total des fers du viaduc en kilogrammes, se déduit dans les projets, de la formule :

$$P = lp + sq$$

où l'on fait habituellement $p = 390$, $q = 320$.

Le poids mort par mètre courant de longueur s'obtient en ajoutant au poids p : 1° le poids des longrines et traverses en bois, cubant ensemble $0^{mc},83$, et pesant 650 kilogrammes; 2° le poids des rails, 60 kilogrammes, 3° le poids de la tôle galvanisée couvrant les traverses, 20 kilogrammes; ce qui donne par mètre courant, un total de 1120 kilogrammes.

Les deux tabliers formant pont-levis aux deux extrémités du viaduc contiennent en outre 330 kilogrammes de fer et 10 mètres cubes de bois.

Le prix total des viaducs se calcule, comme le poids total des fers, en prenant pour base un prix par mètre courant de longueur horizontale et un prix par mètre courant de hauteur de supports.

Pour la plus grande partie des viaducs du Cincinnati-Southern, les prix payés se sont maintenus dans les limites suivantes :

INDICATION DES HAUTEURS MAXIMA DES VIADUCS.	PRIX PAR MÈTRE DE LONGUEUR HORIZONTALE.	PRIX ADDITIONNELS PAR MÈTRE VERTICAL DE PALÉE.
De 9 mètres et au-dessous..	315 fr. à 365 fr.	138 fr. à 172 fr.
De 9 » à 18 mètres..	365 à 410	143 à 187
De 18 » à 27 » ..	365 à 475	143 à 195

Nous donnons, dans le tableau ci-contre les poids et prix par mètre carré de surface d'élévation d'un certain nombre de ces viaducs.

Le cube de bois du tablier par mètre courant y est uniformément de $0^{mc},83$.

Le viaduc de Cumberland River est situé sur une courbe très prononcée; il atteint, sur une partie de sa longueur, une hauteur de 27 mètres; chaque pile comprend trois travées, et l'on a donné aux arbalétriers extérieurs un fruit plus prononcé qu'aux arbalétriers intérieurs.

Pour les viaducs qui restaient encore à exécuter sur la ligne à la fin de l'année 1877, les ingénieurs, admettant la double éventualité de la construction soit en fer, soit en bois, ont présenté des estimations qui peuvent se traduire par les formules suivantes en désignant : par D_F le prix total en francs du viaduc monté en fer; par D_B le prix total du viaduc monté en bois; l et s ayant la même signification que ci-dessus :

$$D_F = 325l + 207s$$

$$D_B = 267l + 86s$$

Il en résulte que la construction en bois ne serait susceptible de procurer une grande économie que pour des viaducs d'une certaine hauteur, où l'emploi de cette matière présenterait d'ailleurs des inconvénients sérieux.

DÉSIGNATION des VIADUCS.	CONSTRUCTEURS.	LONGUEUR.	SOMME des HAUTEURS.	HAUTEUR MOYENNE.	SURFACE D'ÉLÉVATION.	POIDS DE MÉTAL		PRIX par mètre carré d'élévation.
						par viaduc.	PAR MÈTRE carré d'élévation.	
		m	m.	m.	m. q.	tonnes.	kil.	fr.
Horse Run.........	Keystone Bridge C[y]	174,00	545,00	18,80	5160	286,60	55	37,60
1° Branch of Pleasant Run.............	» » »	155,00	258,00	16,15	2500	156,00	62	40,00
2° Branch of Pleasant Run.............	American Bridge C[y]	127,00	175,00	13,45	1714	110,50	64	46,50
Rice Creek.........	» » »	155,00	252,50	15,80	2450	150,00	61	40,80
Eagle Creek........	Louisville Bridge C[y]	155,50	266,60	16,70	2580	153,60	60	41,10
Lexington Pike.....	American Bridge C[y]	119,15	110,80	7,40	878	74,80	85	62,00
Brigg's Branch.....	» » »	54,30	33,55	6,70	364	35,80	98	65,00
South fork of Green River...........	Louisville Bridge C[y]	384,30	798,50	19,50	749	430,00	57	39,00
Fishing Creek.......	» » »	173,50	342,20	19,00	3300	169,00	51	30,80
Pitman Creek......	» » »	91,00	115,20	14,40	13100	75,90	58	33,00
Cumberland River..	American Bridge C[y]	200,40	464,20	22,00	44000	264,30	60	39,80

En ce qui concerne les viaducs métalliques, les ingénieurs du Cincinnati-Southern R.R., après en avoir construit un très grand nombre avec palées uniformément espacées de 9^{m},15, ont par la suite reconnu que, pour franchir des hauteurs de plus de 18 mètres, il y avait économie à doubler l'ouverture des travées, qu'ils ont portée à 18^{m},30 dans certaines parties des derniers viaducs construits sur la ligne, tout en maintenant, pour l'espacement des palées formant piles, le chiffre de 9^{m},15 [1].

C'est ce qui a été fait par exemple, dans le Bridgefork Viaduct où, sur 15 travées, il y en a deux, correspondant à la partie la plus profonde de la vallée, où les fermes, de 18^{m},30 de portée, sont établies dans le système Fink avec 3 poinçons.

L'adoption de plus grandes portées, étendues jusqu'aux extrémités des viaducs, a l'avantage de supprimer les socles en maçonnerie enterrés dans les talus, qui servent à supporter les premières piles.

Viaduc de Dale-Creek (fig. 14 à 19, pl. XVIII). — L'American Bridge C^{y}, qui a construit le viaduc du Cumberland River, sur le Cincinnati-Southern, a aussi établi sur l'Union Pacific un viaduc métallique pour remplacer l'estacade en bois du Dale-Creek. Ce viaduc comprend treize travées de 12^{m},20 de portée avec piles doubles d'une hauteur atteignant 34^{m},47, partagée en 4 étages par les ventrières longitudinales. Les fermes du tablier sont à double poin-

---

1. Tous les viaducs du Cincinnati-Southern sont construits pour supporter la charge du train type défini précédemment, et correspondant sensiblement dans chaque travée à une charge de 6000 kilogr. par mètre courant. Cette charge est majorée de 30 p. 100 pour tenir compte de la vitesse et des chocs. A cette charge, on ajoute pour le tablier le poids de la superstructure évalué à 1^{t},10 par mètre courant, et pour les piles, une charge de 2^{t},60 en moyenne par étage et par pile. Chaque étage a une hauteur moyenne égale à l'ouverture des travées, soit 9^{m},15.

L'action du vent est évaluée à 153 kilogr. par mètre carré, et à 468 kilogr. ou à 375 kilogr. par mètre courant de voie, suivant qu'il s'agit de wagons ou de locomotives, le centre de pression étant situé à 3^{m},50 au-dessus du sommet des colonnes. Cette même action est comptée pour 1^{t},26 par travée, pour la superstructure, et pour 0^{t},635 par étage de pile.

Dans les viaducs courbes dont la figure 15, planche XVII, indique la disposition générale en coupe transversale, il est tenu compte de la force centrifuge développée par les locomotives supposées d'un poids de 42 tonnes et marchant à une vitesse de 64 kilomètres à l'heure.

Les pressions dans les arbalétriers sont calculées d'après le poids propre et la charge roulante majorée comme il a été dit plus haut; les tensions, en tenant compte de l'action du vent, et de plus, dans les courbes, de la force centrifuge. Les entraits et les diagonales, dans le sens longitudinal, doivent résister au frottement développé par le serrage brusque des freins en marche, qui est évalué à 20 p. % de la charge des trains.

çon, et les arbalétriers reposent sur des plaques de fondation en fonte par l'intermédiaire de galets; les plaques supérieures sont d'ailleurs retenues par des goujons passant dans des trous allongés qui leur permettent un certain déplacement longitudinal.

Ce viaduc a été calculé pour une charge roulante de 4500 kilogrammes par mètre courant; le poids mort par mètre courant de travée a été évalué à 900 kilogrammes; l'action du vent à 175 kilogrammes par mètre courant de voie; les plus grands efforts de compression dans les colonnes ne dépassent pas 5 kilogrammes par millimètre carré; les efforts de tension admis dans les autres pièces atteignent un maximum de 7 kilogrammes.

Le poids total de métal employé dans la construction est de 185 tonnes; ce qui fait ressortir un poids par mètre carré d'élévation de 53 kilogrammes.

Viaduc d'Oak-Orchard (fig. 7 à 13, pl. XVIII). — Nous citerons encore comme type de viaducs à faible portée le viaduc d'Oak-Orchard, sur la ligne de Rome, Watertown et Ogdensburg, dont les piles alternent avec les travées libres, ayant $9^{m},15$ de portée. Dans ce viaduc, de 21 mètres de hauteur moyenne, les arbalétriers sont des fers à T à âme en treillis, et les entraits transversaux sont composés de lames de tôle assemblées par des goujons. Les bases des arbalétriers sont complétement fixes, mais les entraits longitudinaux au milieu de la hauteur des palées sont articulés avec les arbalétriers, ce qui suffit avec le glissement des entraits supérieurs supportant le tablier, pour que les dilatations et les contractions se produisent librement.

Viaducs à grandes portées.

Les viaducs métalliques à faibles portées et à palées équidistantes que nous venons de décrire forment, en quelque sorte, la transition entre les estacades en bois destinées à être remblayées et les viaducs de grande hauteur. Lorsque la multiplication des points d'appui devient coûteuse en raison de la hauteur, on doit chercher à les restreindre; à partir de la hauteur de 30 mètres et même pour des hauteurs moindres, ainsi que nous venons de le voir, on cesse de s'astreindre, en général, à l'espacement égal des palées, et les travées libres, d'une portée plus ou moins grande, reposent sur des piles d'une largeur inférieure à cette portée.

Les grands viaducs les plus remarquables, construits dans ce système en Amérique, sont ceux : de Portage, établi en remplacement de l'estacade en bois précédemment décrite; de Varrugas, exécuté au Pérou par des ingénieurs des États-Unis, et du Kentucky River, sur le Cincinnati-Southern, terminé en 1876.

Viaduc de Portage (fig. 4, 5 et 6, pl. XVIII). — Le premier de ces viaducs, construit par M. G. Morison, en 1875, a été assis sur les socles en maçonnerie du viaduc en bois, détruit par un incendie.

Il comprend sept travées, dont quatre de $15^{m},25$, deux de $30^{m},50$, une de $36^{m},05$. La hauteur maxima des piles est de $62^{m},12$.

Le tablier du viaduc, établi pour deux voies, est porté par deux fermes du système Pratt-Linville dans chaque travée. Chaque pile est formée de quatre arbalétriers distants parallèlement à la voie de $15^{m},25$, présentant, dans le sens transversal, un fruit de 1/8, et espacés au sommet de $6^{m},10$.

Ces quatre arbalétriers sont reliés par des étages d'entretoises, au nombre de neuf pour les plus hautes piles.

Pour donner plus de rigidité à ces piles, on a intercalé dans chaque palée un montant vertical central s'élevant à une hauteur de 38 mètres au-dessous du niveau des rails.

Les arbalétriers sont des poutres en tôle à section rectangulaire rivées, dont un côté est constitué par un treillis.

Les entretoises horizontales, articulées sur des boulons traversant les arbalétriers, sont également en treillis.

Le montage du viaduc de Portage a été fait au moyen d'échafaudages volants reposant sur les socles des anciennes estacades, qu'on exhaussait au fur et à mesure de la construction ; les fermes du tablier ont été montées à l'aide de fermes provisoires en bois et fer du système Pratt, assemblées au bas des piles et hissées ensuite à leur sommet.

Chaque grande ferme est fixée d'une manière invariable au sommet d'une palée à l'une de ses extrémités, et portée à l'autre extrémité par des galets ; des maillons de forme ovale, passant sur les boulons d'articulation de la ferme suivante, la relient avec cette ferme et présentent le jeu nécessaire pour la libre dilatation.

Ce viaduc a absorbé en totalité 590 tonnes de fer, dont 404 pour les six piles, formant une hauteur totale de 216 mètres, et 186 tonnes pour le tablier, de 250 mètres de longueur.

Viaduc de Varrugas (fig. 1 à 3, pl. XVIII). — Le viaduc de Varru-

gas, établi pour une seule voie, a 175m,35 de long, une hauteur maxima de 76m,80, et il comprend quatre travées, trois de 30m,50 et une de 38m,10.

Les piles ont une longueur de 15m,25 dans le sens de la longueur de la voie; elles ont, au sommet, une largeur de 4m,57, qui croît jusqu'à la base en raison du fruit de 1/12, donné aux arbalétriers. Chaque pile comprend trois palées parallèles composées chacune de quatre arbalétriers disposés de manière à dessiner un W renversé, et venant aboutir deux à deux sous les fermes du tablier.

Ces arbalétriers, entretoisés dans les plus hautes piles par neuf étages de fermes horizontales et solidement contreventés par des croix de Saint-André, sont formés par des colonnes en fer laminé de Phénixville, d'un diamètre de 0m,30 pour les arbalétriers des fermes extrêmes et de 0m,25 pour ceux de la ferme centrale, assemblées entre elles par des manchons en fonte. Les fermes du tablier sont des fermes du système Fink à huit divisions.

Le montage a été exécuté à l'aide d'un chariot roulant sur deux câbles, suspendus à travers la vallée entre deux piles provisoires en bois, d'où les pièces des piles étaient descendues à leurs emplacements définitifs. Les mêmes câbles ont servi ensuite à supporter des échafauds volants pour la mise en place des pièces composant les fermes du tablier[1].

Le montage du viaduc s'est accompli en cinquante-cinq jours. La première pile a demandé dix-huit jours, et chacune des deux autres, douze jours.

Le poids du métal est de 507 tonnes pour les piles, qui forment une hauteur cumulée de 175 mètres, et de 100 tonnes pour le tablier.

Ce viaduc est moins léger que le précédent, mais il présente une stabilité transversale bien plus grande par suite du plus grand empatement des piles et du doublement des arbalétriers dans chaque travée.

Viaduc du Kentucky River.

Le viaduc américain le plus remarquable par ses proportions et par son mode de construction est certainement celui qui vient d'ê-

1. Ce système de montage avait été déjà employé avec succès pour les piles du viaduc de Fribourg (Suisse) et pour le pont en arc d'El Kantara, près de Constantine (Algérie).

tre établi sur la ligne du Cincinnati-Southern, au passage du Kentucky River (pl. XIX, XX et XXI).

Dispositions générales. — La voie ferrée traverse cette rivière en un point où les deux rives, formées par des falaises très-escarpées, laissent entre leurs crêtes un intervalle de près de 400 mètres, et s'élèvent d'environ 84 mètres au-dessus du fond de la vallée. Il avait été précédemment question d'établir sur ce point un pont suspendu, et deux piles en maçonnerie avaient été construites sur le bord des escarpements pour porter les câbles.

La grande hauteur commandait de réduire le plus possible le nombre des points d'appui; on s'est contenté de deux, et pour diminuer la dépense, on a construit les piles en métal avec des socles de 20 mètres de hauteur en maçonnerie. Il s'ensuit que la partie métallique des piles a encore une hauteur de 54 mètres; les travées qui réunissent les piles et les culées ont une portée de 114^m,40 chacune (fig. 1, 2, pl. XIX).

A cause de la grande hauteur, on avait à se préoccuper de l'accroissement des efforts que pourrait déterminer, dans le tablier, supposé continu, le relèvement des points d'appui par l'effet des variations de température, susceptibles d'atteindre 75 degrés en totalité; ce relèvement pouvait s'élever jusqu'à 0^m,06.

On s'est décidé en conséquence à introduire dans les fermes des articulations qui leur permissent d'obéir à ces variations. Les articulations ont été placées, non sur les piles elles-mêmes, mais au quart des travées extrêmes à partir des piles, c'est-à-dire aux points d'inflexion de la courbe des moments de flexion qui se produirait pour les fermes supposées continues et uniformément chargées.

On jouit ainsi dans une certaine mesure de l'économie que procurerait la continuité absolue, et en plaçant l'articulation sur la semelle supérieure de la ferme de hauteur uniforme portée par les deux piles, on évite d'avoir à élever les piles jusqu'au niveau du tablier du viaduc, comme on serait obligé de le faire si l'on plaçait les articulations sur les piles.

On n'a pas d'ailleurs voulu placer l'articulation sur la semelle inférieure et interrompre la semelle supérieure, pour conserver plus de rigidité à celle-ci, sur laquelle le vent a le plus d'action lors du passage des trains.

Il suit de là que des trois travées de hauteur uniforme que comprend le pont, l'une, celle du milieu, peut être considérée comme

une poutre reposant sur deux appuis et en porte à faux au delà des piles; les deux autres, s'appuyant à une de leurs extrémités sur les culées, sont suspendues par l'autre extrémité à la première.

Fermes supportant le tablier (pl. XX et XXI). — Dans chaque travée, comptée entre les culées et les piles, les fermes établies dans le système Linville avec une hauteur égale au dixième de la portée, se décomposent en vingt panneaux. Le tablier du viaduc a une largeur de $5^{m},49$ entre les axes des fermes.

Semelles. — Les semelles sont constituées par des poutres en tôle rivées, afin de pouvoir subir tour à tour des efforts de tension et de contraction, comme cela est arrivé pendant les opérations de montage, et comme cela arrive encore journellement au passage des trains. Au droit du joint à articulation, la semelle inférieure présente une disposition spéciale permettant aux deux portions de poutres placées bout à bout, de glisser l'une sur l'autre. Les figures 2, 3, 4 et 8, planche XX, montrent les détails de cette disposition. Comme il était toutefois nécessaire pour le montage, que la semelle inférieure pût travailler à l'extension au droit du joint, les deux tronçons ont été temporairement assemblés au moyen de rivets, que l'on a burinés ensuite.

Articulations. — L'articulation de la semelle supérieure a cela de particulier que la portion de poutre aboutissant à la pile est prolongée à l'intérieur de celle qui aboutit à la culée par un caisson à triple âme verticale que traverse le boulon servant à l'articulation, et qui est susceptible d'un certain mouvement entre les deux âmes verticales de la deuxième partie de la poutre (fig. 2, 3, 5 et 8, pl. XX).

Montants verticaux. — Les montants verticaux, à section rectangulaire, s'engagent dans les deux cours des semelles par le moyen d'encoches, et ils sont maintenus en place par des prolongements verticaux pénétrant à l'intérieur des semelles.

Tirants. — Pour la facilité du montage, on a composé les tirants et contre-tirants de deux parties assemblées au moyen d'œils et de boulons d'articulation.

Aux extrémités des travées, où deux tirants convergent à la fois vers le sommet des montants, on les a réunis, avant d'atteindre ce sommet, en un tirant unique de $1^{m},80$ de longueur, dirigé de manière à assurer autant que possible, une répartition égale des efforts entre les deux séries de tirants. Cette disposition est reproduite

dans les panneaux contigus à l'articulation de chaque travée de rive.

Lisse centrale. — Pour prévenir le flambage des montants verticaux, une lisse horizontale médiane, de section carrée, les réunit tous dans la partie centrale de la travée. Au milieu même de la travée, où les poteaux verticaux, ayant une moindre section, sont le plus sujets à flamber, on a placé, indépendamment des tirants et contre-tirants ordinaires, des tirants additionnels pour obtenir un surcroît de rigidité au passage des charges roulantes.

Contreventement transversal. — Le contreventement transversal dans chaque travée est réalisé à la partie inférieure des fermes par des entretoises et par un système de diagonales; il en est de même à la partie supérieure où les entretoises supportent le tablier du pont.

Dispositions pour combattre les effets de la dilatation. — Pour que la dilatation des fermes puisse s'opérer librement, les semelles inférieures des fermes sont traversées au droit des culées par un tourillon d'acier de $0^{m},175$ de diamètre fixé sur un coussinet que portent onze galets roulant sur une plaque de fonte scellée dans la maçonnerie.

Au droit des piles, une embase de section semi-circulaire forme, au-dessous de la semelle inférieure, le prolongement du double poteau vertical correspondant, et enveloppe un tourillon de $0^{m},305$ de diamètre.

Cette disposition est destinée à assurer la transmission des charges au centre des piles, tout en laissant les fermes libres de s'infléchir sous l'action des charges ou des variations de température.

Piles (pl. XIX, fig. 3 à 9, et pl. XXI, fig. 12). — Les piles, qui ont une forme triangulaire, sont constituées chacune par quatre arbalétriers dont les sommets se réunissent deux à deux pour porter les tourillons des fermes. Elles ont, dans le sens longitudinal, une largeur de $0^{m},726$ au sommet et de $8^{m},54$ à la base pour une hauteur de $52^{m},91$. Le fruit dans le sens longitudinal est de $0^{m},075$ par mètre. Dans le sens transversal, la longueur des piles est de $5^{m},49$ au sommet et de $21^{m},81$ à la base, ce qui correspond à un fruit de $0^{m},15$. La hauteur totale est divisée par des cours d'entretoises horizontales en sept étages dont la hauteur s'écarte peu de $7^{m},50$.

Arbalétriers des piles. — On voit que la forme des piles est tout

à fait différente de celle que nous avons rencontrée dans les viaducs précédents; le seul point de similitude est la nature du métal employé. Toute l'ossature des piles est en fer laminé; les joints des pièces formant les arbalétriers sont disposés de telle sorte, que chaque pièce supérieure repose en plein sur la tête de la pièce inférieure; pour les tenir ensemble, on s'est contenté de river, à l'intérieur de cette dernière, aux quatre angles du caisson qui la constitue, des cornières se prolongeant au delà du plan du joint et formant ainsi comme des tenons que l'on boulonne au pied de la pièce supérieure une fois mise en place.

Les diagonales, disposées dans chaque étage par paires, sont deux à deux assemblées aux extrémités des mêmes boulons d'articulation.

Pour accroître la rigidité dans le sens transversal, on a intercalé entre les deux arbalétriers inclinés de chaque palée un montant vertical, divisant en deux parties la portée des entretoises de la partie basse des piles. Une entretoise additionnelle est en outre intercalée au milieu des entretoises parallèles à la longueur du viaduc.

Bases des piles. — Comme dans plusieurs viaducs précédemment décrits, la base de chaque pile est susceptible d'un certain déplacement, qui lui permet d'obéir aux variations de température.

Ce déplacement peut avoir lieu dans les deux sens, grâce à un double étage de galets; l'axe de la pile est d'ailleurs invariable.

Les figures 3, 8 et 9, planche XIX, indiquent les dispositions prises à cet effet.

Efforts maxima dans les différentes pièces. — On a admis, pour le calcul des différentes pièces métalliques, les mêmes bases de charges et de résistances que pour les autres viaducs de la même ligne.

La majoration de 30 pour 100, donnée aux charges roulantes dans le calcul des entretoises du tablier, des arbalétriers et des contre-tirants et tirants, a été portée à 50 pour 100 pour les liens de suspension où viennent se réunir, aux points d'articulation et au droit [illegible] points d'appui, les deux séries de tirants inclinés.

[illegible]ts dans le tablier. — Dans les semelles, c'est au droit des [illegible] que se produisent les plus grands efforts totaux; ils correspondent à l'hypothèse des travées extrêmes seules chargées, et atteignent 380 tonnes. Lorsque la travée centrale est seule chargée, les efforts changent de sens pour une partie de cette travée au milieu de laquelle ils s'élèvent à un maximum de 270 tonnes.

Les plus grands efforts, dans les tirants uniques aboutissant sur les semelles supérieures au droit des piles, sont de 280 tonnes : ils sont de 180 tonnes pour les tirants articulés aux extrémités des parties en encorbellement.

Les efforts par millimètre carré résultant des charges permanentes et roulantes ne dépassent nulle part 6 kilogrammes : ils sont susceptibles de s'accroître de $4^k,5$ dans les semelles par l'effet de l'action du vent le plus violent. En raison du caractère tout à fait accidentel de cette action, un pareil accroissement n'a pas paru offrir de danger sérieux.

Pendant le montage qui sera décrit plus loin, on s'est assujetti à ne pas dépasser, pour les efforts de tension, la limite de 15 kilogrammes par millimètre carré.

Efforts dans les piles. — Dans les arbalétriers des piles, les plus grands efforts totaux de compression correspondent au passage simultané de deux trains se suivant à une faible distance ; ils varient alors de 214 à 255 tonnes du sommet à la base des piles. L'action du vent, portée à la limite compatible avec la circulation des trains, peut accroître ou diminuer ces efforts de 130 et 160 tonnes. En supposant cette action doublée, on trouve encore des efforts inférieurs aux compressions dues au poids propre de la construction. Il s'ensuit qu'il ne peut jamais s'exercer de traction à la base des piles.

La poussée horizontale, que peut produire au sommet des piles le serrage brusque des freins, est susceptible de développer dans les arbalétriers et les autres pièces des piles des efforts supérieurs à ceux qui seraient dus à l'action du vent : ces efforts, qui s'élèvent à 230 tonnes à la base des arbalétriers, n'atteignent pas d'ailleurs ceux qui sont dus aux charges. Il n'a pas été tenu compte de leur coïncidence, peu probable du reste, avec les efforts maxima dus à l'action du vent.

Le travail maximum des arbalétriers, entraits et tirants, ne dépasse dans aucun cas 8 kilogrammes par millimètre carré.

Quant aux efforts additionnels, occasionnés par la déviation horizontale maxima du sommet des piles, évaluée à $0^m,037$ pour une variation de température de 55 degrés centigrades à partir de la température moyenne, la hauteur des piles fait qu'ils ne peuvent être que très-faibles : on a calculé qu'ils ne dépassaient pas le quart des plus grands efforts dus à l'action du vent.

Poids total de la construction et dépense. — Le poids total de la construction métallique est de 1642t,50, savoir :

Tablier	1283t,00
Piles	359t,50

Ces poids se décomposent ainsi qu'il suit :

1° *Tablier.*

	Tonnes.
Semelles	516,71
Ame, y compris articulations	507,32
Contreventement	76,31
Tablier proprement dit	160,84
Galets de dilatation, boulons d'assemblage, etc.	12,00
Fonte pour assemblages et plaques	11,82
	1283,00

2° *Piles.*

Arbalétriers	201,66
Entraits horizontaux	72,04
Diagonales	30,28
Boulons d'articulation et d'assemblage	11,97
Chapiteaux	13,24
Galets et plaques de friction	11,73
Fonte pour assemblages et plaques	19,18
	359,50

Ce remarquable ouvrage, sur lequel nous reviendrons en parlant du montage des ponts et viaducs, a été construit par la Baltimore Bridge Cy pour la somme de 404 373 dollars, soit 2 020 000 francs environ, y compris fondations et superstructure; il a été projeté et exécuté par l'un des plus habiles ingénieurs des États-Unis, M. C. Shaler Smith, sous la direction de M. G. Bouscaren, ingénieur en chef de la ligne.

L'examen que nous venons de faire des divers systèmes de construction de viaducs pratiqués en Amérique, fait ressortir les différences qui les distinguent des viaducs européens.

Pour les faibles hauteurs, ces viaducs consistent en des estacades en bois ou en fer, suivant qu'il s'agit d'ouvrages provisoires ou définitifs. En pareil cas, il est certain que l'égal espacement des palées, placées à de faibles intervalles, favorise le fractionnement et l'égale répartition entre elles des efforts dus à la charge roulante, en même temps que la solidarité établie entre les travées contribue

à la stabilité. En faisant d'ailleurs cesser cette solidarité dans un certain nombre d'intervalles, on empêche les effets de dilatation et de contraction de se cumuler sans trop nuire à la stabilité.

Pour les grandes hauteurs, l'espacement égal des palées rendrait ce système de construction peu économique; on est alors conduit à faire les travées libres notablement plus grandes que les travées solidaires; mais on tombe alors, avec le système des palées parallèles, dans l'inconvénient de soumettre isolément chacune des palées lors du passage des surcharges à des efforts considérables, sans qu'elles puissent se porter mutuellement secours, et dans celui de n'avoir, en l'absence de tout fruit dans le sens longitudinal, d'autre moyen de combattre la tendance au renversement des piles dans ce sens, que des tirants dont la tension est sujette à varier avec la température.

Pour les grandes hauteurs, qui entraînent logiquement les grandes portées, la disposition des piles adoptée en dernier lieu par M. de Nördling, l'ingénieur européen qui a le plus contribué à perfectionner la construction des viaducs métalliques, est évidemment plus rationnelle, sinon plus économique, par cela qu'elle assure l'égale répartition des efforts transmis par le tablier, entre tous les arbalétriers d'une même pile. L'application de cette disposition au viaduc du Kentucky River montre qu'on en a compris en Amérique les avantages, et qu'elle est en outre susceptible de recevoir certains perfectionnements.

Parmi ces perfectionnements, nous signalerons :

1° La grande portée donnée aux travées, qui contribue à la stabilité des piles en diminuant à la fois l'influence relative de l'action du vent et des efforts horizontaux susceptibles de se développer au passage des surcharges, au point de supprimer les efforts de traction dans les arbalétriers, en même temps qu'elle procure une notable économie dans le cas des grandes hauteurs ;

2° La forme triangulaire donnée aux piles dans le sens longitudinal, qui permet de donner plus de rigidité à l'assemblage des arbalétriers à leur sommet, et concourt plus efficacement, avec l'adoption du système de tourillons, déjà adopté en Europe pour porter le tablier, à la stabilité des piles, que la forme trapézoïdale ordinaire.

3° L'emploi exclusif du fer dans les arbalétriers formés de tronçons assemblés les uns avec les autres au moyen d'entretoises boulon-

nées; emploi qui en raison du plus grand coefficient d'élasticité du fer, contribue à accroître la rigidité des piles, leur permet de résister accidentellement à des efforts de tension auxquels on ne pourrait exposer impunément la fonte, et rend en outre la construction plus légère, et partant le montage plus facile.

En ce qui concerne le tablier, l'articulation établie dans la semelle supérieure des fermes des travées extrêmes constitue un moyen ingénieux de leur donner la flexibilité nécessaire pour obéir aux variations de température, tout en procurant une certaine économie de matière; elle a toutefois le triple inconvénient de nuire à la rigidité du tablier, de déterminer sur certaines articulations l'accumulation d'efforts considérables, et d'entraîner, dans une partie des semelles de la travée centrale, des efforts de sens variable, suivant la répartition de la charge roulante sur les travées, contrairement à la règle admise par les ingénieurs américains. L'adoption d'une semblable disposition ne peut être justifiée que par la hauteur inusitée des piles, d'où résulte un relèvement possible des points d'appui tout à fait exceptionnel, par suite des grandes variations de température.

Au point de vue de l'économie de la matière, on peut se faire une idée de la différence qui existe entre les grands viaducs d'Europe et d'Amérique par le tableau ci-contre.

On peut voir par ce tableau que l'adoption, dans les piles du viaduc du Kentucky River, d'un mode de construction analogue à celui qui est pratiqué maintenant en Europe, ne l'a que fort peu alourdi, et qu'il peut encore soutenir la comparaison avec les autres viaducs américains pour la légèreté, qui, avec leur montage facile, est leur principal avantage, quand on les compare aux viaducs européens.

TABLEAU DES PRINCIPAUX VIADUCS MÉTALLIQUES CONSTRUITS EN EUROPE ET EN AMÉRIQUE.

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	NOMBRE ET LONGUEUR des travées.	HAUTEUR MAXIMA DES PILES.	POIDS des piles par mètre de hauteur.	POIDS du tablier par mètre courant.	POIDS par mètre carré d'élévation.	MODE DE CONSTRUCTION DES PILES.	DIMENSIONS DES PILES. Au sommet. Épaisseur.	Au sommet. Largeur.	À la base. Épaisseur.	À la base. Largeur.
1° *Viaducs à une voie.*	m.	m.	kil.	kil.	kil.		m.	m.	m.	m.
Sitter (Suisse), construit en 1856	2 de 36,24 2 de 38,40	47,80	8961	2200	165	Piles composées de châssis en fonte superposés	3.50	4,85	5,50	10.50
Iglawa (Autriche), construit en 1869-1870	6 de 59,40	26,40	3778	2800	164	Piles composées chacune de 4 colonnes en fonte reliées par des entretoises en fer	2,80	5,50	4,80	9,52
Cère (France), construit en 1866	1 de 45,25 1 de 41,25 3 de 50,00	33,90	3700	2260	147	Piles composées de 8 colonnes en fonte	2.50	5.00	4,60	9,20
Bouble (France), construit en 1871	6 de 50,00	57,50	3328	2350	104	Piles composées de 4 colonnes en fonte avec consoles à la base	2,50	3,50	4,50	19,00
Varrugas (Pérou), construit en 1873	3 de 30,50 1 de 38,10	76,80	2920	770	62	Piles en fer composées chacune de 3 fermes contenant 4 arbalétriers figurant un W renversé	15,25	4,57	15,25	17,37
Kentucky River (États-Unis), construit en 1876	3 de 114,40	54,00	2800	1123	75	Piles en fer composées chacune de 4 arbalétriers	0,75	5,40	8,40	21,45
2° *Viaducs à deux voies.*										
Crumlin (Angleterre), construit en 185	10 de 45,75	53,00	...	—	157	Piles en fonte composées chacune de 3 palées contenant, celle du milieu 6 colonnes, celles des bords 4 colonnes	4,88	9,00	6,54	13,25
Fribourg (Suisse), construit en 1862	2 de 40,00 5 de 44,00	43,20	7500	3660	220	Piles en fonte contenant chacune 4 arbalétriers convergents	4,18	6,30	6,20	10,00
Busseau d'Ahun (France), construit en 1865	1 de 45,25 1 de 41,25 4 de 50,00	33,90	4873	4170	240	Piles en fonte à 2 palées contenant chacune 4 arbalétriers convergents	2,00	6,00	3,40	10,20
Portage (États-Unis), construit en 1875	1 de 36,50 2 de 30,50 4 de 15,25	61,00	1880	748	60	Piles en fer formées de 2 palées chacune, contenant 2 arbalétriers avec colonnes verticales intermédiaires dans les palées	15,25	6,00	15,25	21,25

PONTS MOBILES.

Généralités. — La traversée des grands fleuves, parcourus par une navigation extrêmement active, qui effectue encore aujourd'hui une très-grande partie des transports et n'a pas cessé de faire aux chemins de fer une sérieuse concurrence, a entraîné sur un très-grand nombre de points l'établissement de ponts mobiles pour éviter le surcroît d'élévation prescrit par les ingénieurs du gouvernement fédéral pour les ponts fixes, sous lesquels, ainsi que nous l'avons vu plus haut, on exige le plus souvent une hauteur libre de 50 pieds ($15^{m},25$) au-dessus des hautes eaux.

Ces ponts sont généralement des ponts tournants à double travée, en sorte que le pont, en s'ouvrant pour venir se ranger sur les estacades qui prolongent habituellement la pile sur laquelle il repose, démasque deux passes égales dont la largeur varie entre 48 mètres et 61 mètres sur les grands fleuves. Le plus grand pont tournant construit jusqu'à ce jour est celui de Raritan Bay (pl. XXIII, fig. 1 à 7) ayant une double travée tournante de $143^{m},04$ de longueur.

D'après les règlements établis pour le passage des ponts tournants, ces ponts doivent s'ouvrir pour chaque bateau qui se présente, à moins qu'un train ne soit en vue; on voit dans l'espace de quelques minutes, le pont s'ouvrir devant le bateau, puis sans s'arrêter pour ainsi dire dans son évolution, venir se refermer derrière lui en continuant toujours dans le même sens son mouvement de rotation, à la fin duquel les deux travées ont pris la place l'une de l'autre.

Les trains doivent toujours s'arrêter avant de s'engager sur les ponts, comme ils le feraient à un croisement; l'inobservation de cette mesure de précaution a causé plus d'une lamentable catastrophe.

Pont à soulèvement vertical. — Pour franchir le canal Erié à Utica (État de New-York), M. Squire Whipple a établi, au passage d'une route dont le niveau n'était pas susceptible de modification et dont les abords n'offraient pas l'espace nécessaire pour le développement d'un pont tournant, un pont (*lift bridge*) qui se lève verticalement à la hauteur nécessaire pour donner passage aux bateaux. Quatre colonnes, placées deux à deux de part et d'autre du

canal, supportent à cet effet une ferme supérieure dont les montants verticaux sont creux, de manière à laisser passer des tiges de suspension auxquelles sont attachées les poutres du tablier et qui aboutissent à des câbles en fil de fer passant sur des poulies et supportant à leurs autres extrémités des contrepoids.

Un arbre supérieur mû par un engrenage, en faisant tourner les poulies, permet de remonter le tablier du pont à la hauteur nécessaire pour que les bateaux passent dessous ; pour plus de rapidité de manœuvre, l'homme qui en est chargé remonte chaque fois à l'avance à une certaine hauteur un contre-poids qui par sa descente produit la rotation des poulies.

Le tablier de ce pont-levis qui a 18m,30 de portée et 5m,50 de largeur pèse environ 11 tonnes.

Il n'existe pas jusqu'à présent d'autre application de ce système.

Ponts tournants soutenus par des haubans. — Les ponts tournants, ainsi que cela a eu lieu aussi en Europe, ont été d'abord construits en deux travées distinctes suspendues par des haubans à un chevalet central porté par l'appareil de rotation.

Cette disposition, rationnelle en ce que les deux travées sont ainsi placées pendant la fermeture dans les mêmes conditions de stabilité que celles d'un pont ordinaire, et soutenues seulement pendant l'ouverture par les haubans qui ne travaillent qu'à ce moment, s'ils sont attachés à la partie extrême des fermes, se retrouve encore dans quelques ponts de faible ouverture, comme celui qui sert à franchir à Quincy un des petits bras du Mississipi. Le tablier de ce pont est porté par des fermes du système Bollman.

Un des ingénieurs qui ont le plus approfondi la question des ponts tournants, M. Shaler Smith, prétend que jusqu'à des longueurs totales de 85 mètres, les ponts à haubans sont aussi économiques que les ponts à poutres continues, sur lesquels ils ont l'avantage d'être d'une construction et d'un montage plus faciles.

Ponts tournants à poutres continues. — La plupart des ponts tournants sont établis aujourd'hui en Amérique sous formes de poutres continues dans les divers systèmes adoptés pour les ponts fixes ; comme pour ces ponts, les systèmes Howe et Pratt pour les faibles portées, le système Linville pour les grandes, sont les plus employés aujourd'hui, bien qu'on puisse citer un certain nombre de grands ponts à ferme des systèmes Post et triangulaire, et l'usage des contre-tirants, tout d'abord étendu à la longueur totale des ponts, a fini

par être restreint aux seules parties où les efforts soient réellement sujets à changer de sens, c'est-à-dire à une certaine longueur de chaque travée à partir de son extrémité.

Mode de construction des semelles. — Suivant que le pont est ouvert ou fermé, certaines parties des semelles dans les fermes sont appelées successivement à supporter des efforts de compression et de tension.

Il s'ensuit que ces semelles ne peuvent être construites comme dans les ponts fixes. Généralement elles sont l'une et l'autre constituées sur toute leur longueur par des poutres en tôle rivée en forme de caissons, assemblées au milieu des panneaux par des rivures; et comme les deux semelles deviennent alors rigides, on supprime les articulations, et on fixe les tirants sur chacune d'elles au moyen d'écrous s'appliquant sur leurs extrémités filetées, qui servent à en régler la tension.

Quelques compagnies de construction conservent les articulations des barres inclinées sur la semelle inférieure; il est beaucoup plus rare qu'on les conserve pour les deux semelles; on peut cependant citer les exemples du pont tournant de Point Bridge à Providence (Rhode Island) et du grand pont de Raritan Bay, sur lequel nous reviendrons plus loin, où l'on a maintenu les articulations de ces barres en haut comme en bas. Dans le premier de ces ponts on a en outre conservé les barres à œil pour former la partie de la semelle supérieure qui reste toujours tendue.

A part quelques Compagnies de construction qui font les deux semelles parallèles, celle de Phénixville par exemple, on donne habituellement une certaine surélévation aux fermes au droit du pivot; la semelle supérieure est alors composée d'une seule courbe, ou de deux droites inclinées en sens contraires.

Modes de calage. — Les efforts susceptibles de se produire dans les semelles et dans les pièces de l'âme verticale des fermes dépendent essentiellement de la manière dont on fait reposer les extrémités des volées sur leurs points d'appui. Pour les ponts tournants servant à la circulation ordinaire, qui ont besoin d'être mus rapidement et dont le poids des surcharges accidentelles, relativement faible par rapport à celui du pont, est peu susceptible de compromettre la stabilité, on se contente le plus souvent de faire porter le pont à ses extrémités par de simples roulettes laissant entre elles et les points d'appui un certain jeu, et de le maintenir en place au

moyen de verrous empêchant tout déplacement latéral. Il en résulte, pour les abouts des poutres qui s'abaissent et se relèvent au passage des surcharges, un martelage peu favorable à leur durée.

Sur les chemins de fer, où l'on a à se préoccuper davantage de la stabilité dans la position de fermeture, il n'est pas possible de se dispenser d'un système de calage sous l'extrémité des volées. Suivant l'importance attachée à ce calage, divers procédés sont employés pour le réaliser.

Système de calage de la Compagnie de Keystone. — On peut se proposer de faire cesser tout simplement le jeu existant entre le dessous de la volée et les points d'appui extrêmes, sans chercher à développer aucun effort pour relever l'extrémité de la volée. C'est le cas d'un grand nombre de ponts construits par la Keystone Bridge Cy, dont le moyen de calage consiste en un coin mû par un levier qui est actionné de la pile centrale au moyen d'une tige de manœuvre (pl. XXII, fig. 6). La même tige manœuvre habituellement un signal d'arrêt qui se trouve lié au pont, de façon à fermer la voie avant que le pont ait commencé à s'ouvrir.

Système de calage de la Compagnie de Phénixville. — Un autre système de calage beaucoup plus perfectionné est celui de la Compagnie de Phénixville, qui permet du même coup de fixer le pont en place en abaissant, dans des rainures pratiquées dans les culées, des rails mobiles en prolongement des rails fixes. Ce système expliqué par les fig. 10 à 13, pl. XXIII, consiste en un système de bielles articulées disposées sous les volées au droit des points d'appui constitués par des plaques de fonte légèrement concaves. Ces bielles sont mûes par des leviers établis transversalement sous les extrémités des volées et auxquels un écrou montant ou descendant le long d'une vis, que l'on peut faire tourner dans les deux sens au moyen d'un sytème de transmission partant de la pile centrale, peut imprimer deux mouvements opposés. Ces deux mouvements produisent en même temps l'abaissement ou le relèvement d'une tige agissant sous les rails mobiles au moyen d'une charnière horizontale par lesquels se terminent les voies du pont tournant. Ce système offre le triple avantage de permettre, par suite de la concavité des faces d'appui, un facile centrage du pont, de bien le fixer en place, et de se prêter à un relèvement des extrémités des volées suffisant pour développer dans

les appuis des réactions qui empêchent ces extrémités d'osciller verticalement au passage des surcharges.

Système de calage de l'American Bridge Cie. — D'autres compagnies, celle de l'American Bridge, par exemple, ont recours pour le calage à de véritables verrous installés à demeure sous les extrémités des volées, et qu'un engrenage à vis sans fin actionne au moyen d'une transmission analogue à la précédente.

Le pont est maintenu en place par un système de verrous automobiles, qu'un ressort tend à appliquer contre la culée, et qui par suite s'engagent d'eux-mêmes dans des rainures verticales directrices lorsque le pont est bien en place. On a seulement besoin d'agir en sens contraire sur les ressorts pour que le pont soit libre de tourner. Ce système de fixation a l'avantage, tout en comportant une précision suffisante, d'éviter les dangers que peut faire courir à la continuité de la voie une rupture, ou même une simple flexion des rails mobiles employés par la Compagnie de Phénixville.

Autres systèmes de calage. — Enfin certains ingénieurs ont recours pour maintenir les ponts tournants en place horizontalement et verticalement à un simple verrou de forme cylindro-conique constituant pendant la fermeture une sorte d'ancrage. Tel est le système employé au pont déjà cité de Point Bridge à Providence.

La tendance est aujourd'hui à l'emploi des verrins hydrauliques, adaptés sous les volées, pour réaliser sur les points d'appui une réaction suffisante, d'après le calcul, pour empêcher les extrémités de se relever au passage des plus fortes surcharges. Un ingénieur de Boston, M. Clemens Herschel, a proposé d'appliquer cet emploi à la détermination expérimentale du relèvement à produire à l'extrémité de la volée pour atteindre une réaction donnée, et de déduire ensuite de ce relèvement le niveau à donner aux points d'appui sur les culées. Le problème se complique toutefois à cause des effets que peut produire l'inégal échauffement des deux semelles des fermes, et qui se traduisent suivant les cas par une tendance au relèvement ou à l'abaissement des volées. M. Shaler Smith a constaté que pour un pont de 110 mètres de longueur, l'abaissement pouvait atteindre à certains moments $0^{m},025$. Il s'ensuit que la réaction des culées ne saurait être considérée comme invariable ; on peut seulement se proposer de la maintenir entre certaines limites.

En faisant abstraction de cette cause de variations, on trouverait

pour des travées de 15 à 70 mètres de portée, ayant un poids propre variant de 1 à 3 tonnes par mètre courant et devant supporter un poids de surcharge par mètre courant s'écartant peu de 4 tonnes, qu'il suffit de produire à l'extrémité de chaque volée une réaction capable de diminuer de 1/3 à 1/4 la flèche que chaque volée prendrait sous la seule action de son poids, pour empêcher tout relèvement au passage des surcharges [1].

L'American Bridge Co calcule la résistance des fermes de tous ses ponts tournants dans l'hypothèse d'une réaction capable de réduire cette flèche des deux tiers environ, ce qui leur assure une stabilité plus que suffisante au passage des plus lourdes surcharges pour peu que les portées des travées atteignent 30 mètres.

Grand pont tournant de Raritan Bay. — Pour le grand pont de Raritan Bay construit par la Keystone Bridge Cy, dont la longueur atteint 143 mètres (pl. XXIII, fig. 1 à 7), on s'est proposé, dans le but d'accroître encore la stabilité pendant la fermeture, de rendre les deux travées indépendantes par un procédé particulier. La semelle inférieure de chacune des fermes supportant le tablier est à cet effet coupée au milieu du pont; les deux tronçons de semelles situés de part et d'autre de ce joint ne viennent s'appuyer l'un contre l'autre que pendant que le pont est ouvert; le joint reste ouvert pendant la fermeture, en sorte que le poids de chaque travée se répartit alors également entre ses deux extrémités.

On dispose ainsi lorsque le pont est fermé, pour neutraliser la tendance au soulèvement que peut provoquer le passage des surcharges, d'une réaction égale au 1/4 du poids total du pont à l'extrémité de chaque volée, et qui est complètement indépendante des variations de température.

Les fermes de ce pont ont entre la pile et les culées des portées de $66^{m},40$; la pile centrale, qui est circulaire, a un diamètre de $10^{m},20$. Ces fermes, qui ont une hauteur de 12 mètres au milieu, et de 9 mètres

---

1. De considérations très simples, M. Steiner a déduit une formule pour calculer le soulèvement à produire au moyen du calage à l'extrémité de la volée, pour éviter le relèvement au passage des surcharges.

Si la flèche qui serait prise librement par l'extrémité de la volée est réduite par le calage à $\frac{1}{n}$ de sa valeur, on doit avoir, en désignant par p et q les poids propres du pont et de la surcharge par mètre courant :

$$n = \frac{6p}{6p-q}.$$

aux extrêmités, sont divisées en 31 panneaux ayant chacun une longueur de $4^{m},74$, sauf le panneau central qui a seulement $2^{m},84$, et les panneaux situés de part et d'autre de ce panneau, qui ont chacun $3^{m},70$ de longueur. Elles laissent entre elles, pour le passage de la voie unique, un intervalle libre de $4^{m},88$.

Les semelles des fermes sont constituées par des fers en U assemblés avec des fers plats en forme de doubles caissons ouverts sur l'une de leurs faces horizontales, et elles s'assemblent avec des colonnes du type de Keystone, au moyen de chapiteaux et d'embases. Au droit du point où se trouve coupée la semelle inférieure, les âmes verticales des fers en U sont interrompues pour laisser passer un système de coins de calage entre lesquels portent leurs abouts. Des éclisses appliquées deux à deux à l'intérieur des faces horizontale et verticale du corps de la semelle, et serrées au moyen de boulons passant dans des œils oblongs, maintiennent les deux parties de la semelle dans le prolongement l'une de l'autre (fig. 5, 6 et 7, pl. XXIII). Au moyen d'une vis, on peut régler à volonté la butée des abouts de ces deux parties ; en desserrant cette vis quand le pont est en place, on supprime la continuité de la ferme ; on la rétablit en la serrant, lorsqu'il s'agit d'opérer l'ouverture.

Le décalage se fait en soulevant tout le pont, qui ne pèse pas moins de 590 tonnes, à l'aide de quatre verrins hydrauliques supportés par l'appareil de rotation et placés au-dessous des montants verticaux de chaque panneau central. Un soulèvement de $0^{m},10$ suffit pour dégager complètement le pont de ses appuis extrêmes ; lorsqu'après l'ouverture on a remis le pont en place, l'abaissement de ces mêmes verrins produit le calage.

En plaçant les verrins aux extrémités des volées, on aurait réduit de moitié leur charge ; on ne les a placés au centre que parce qu'on disposait de verrins d'une très grande force provenant du pont de Saint-Louis. Cet emplacement a d'ailleurs l'avantage de permettre au besoin de soulever tout le pont au-dessus de l'appareil de rotation en cas de visite ou de réparation de celui-ci.

Le pont de Raritan Bay a été calculé à la fois pour résister aux efforts développés par son poids propre pendant la rotation et pour pouvoir supporter pendant la fermeture : 1° une charge générale de $3^{t},70$ par mètre courant répartie uniformément sur toute la longueur ; 2° une surcharge par panneau de $6^{t},70$ par mètre courant.

Rotation des ponts. — Il nous reste à faire connaître les divers

systèmes employés pour la rotation des ponts. Ces systèmes se ramènent tous à l'appareil de la plaque tournante des chemins de fer. Ils diffèrent principalement entre eux par la manière dont la charge est répartie entre le pivot et la couronne extérieure des galets, les constructeurs étant d'opinions différentes sur le meilleur mode de répartition à adopter.

Transmission des charges à l'appareil de rotation. — Le diamètre du tambour portant les fermes du pont varie peu ; il est habituellement de 8 à 9 mètres, que le pont soit établi pour une ou pour deux voies.

Dans le cas d'une seule voie, il y a ordinairement deux poteaux verticaux de chaque ferme reposant sur la circonférence du tambour, et de plus un poteau central porté par l'extrémité d'un chevêtre passant au-dessus du pivot ; l'écartement des fermes est alors double de la longueur des panneaux, et le diamètre du tambour, égal à la diagonale du carré formé par les pieds des quatre poteaux. Cette disposition est considérée par M. Shaler Smith comme la meilleure.

On rencontre aussi des ponts, notamment celui de Point Bridge à Providence, déjà cité, où le poteau central disparait, et où tout le poids de la construction est transmis par quatre poteaux reposant sur la circonférence des galets. Parfois enfin, le poteau central est seul à transmettre la charge au chevêtre.

Quand il y a deux voies, afin de ne pas exagérer le diamètre du tambour et de reporter néanmoins sur l'appareil de rotation les charges transmises par les trois poteaux occupant la partie centrale de chaque ferme, on interpose entre le tambour et le dessous des fermes un cadre formé de deux entretoises et deux sous-poutres placées sous les fermes, qui rencontre en projection la circonférence du tambour en huit points également espacés où se transmettent les charges. On évite quelquefois la construction de ce cadre en se contentant de soutenir par des jambes de force appuyées contre le tambour le porte-à-faux des premiers poteaux extérieurs au tambour ; ce procédé est pratiqué notamment par l'usine Sellers de Philadelphie.

Parfois aussi pour les ponts à double voie, quand il y a trois fermes, on reporte toute la charge sur un chevêtre reposant sur le pivot, en plaçant dans les fermes, de part et d'autre du poteau central, des arbalétriers inclinés. Tel est le système employé par M. Mac Donald pour le pont tournant du Passaïc River. Les fermes extrêmes

sont supportées en leurs milieux par un chevêtre central (fig. 11 et 12, pl. XXII) aux extrémités duquel on accumule les galets de rotation.

Dans le grand pont déjà cité de Raritan Bay, où la plaque tournante a un diamètre de 9m,16, les fermes reposent à l'aplomb des quatre poteaux du centre sur des chevêtres doubles, dont les âmes embrassent les verrins servant au soulèvement, et qui viennent se croiser avec des poutres longitudinales entre lesquelles s'engage la crapaudine centrale (fig. 3 et 4, pl. XXIII).

Appareil de rotation. — L'appareil de rotation proprement dit présente diverses particularités par lesquelles se différencient les constructeurs. L'usine de Phénixville a adopté un système de crapaudine (fig. 8 et 9, pl. XXIII) composé d'un fût en fonte, de la partie supérieure duquel rayonnent des tirants boulonnés au sommet du tambour, et qui s'appuie sur une double calotte également en fonte, traversée en son centre par un pivot cylindrique. La calotte inférieure supporte des arcs-boutants portant à leur sommet contre le tambour, et susceptibles de transmettre au pivot une partie plus ou moins grande de la charge des fermes, à la condition de serrer les écrous qui terminent les tirants supérieurs.

Le pivot cylindrique est engagé dans une masse de fonte scellée dans la maçonnerie. Les galets, interposés entre le dessous du tambour et un chemin en acier, sont guidés par un anneau extérieur et par des rayons aboutissant à une couronne intérieure.

Pour réduire la hauteur du tambour, l'usine de Phénixville exhausse quelquefois les maçonneries au-dessus de la couronne des galets, qui se trouvent ainsi relevés à une certaine hauteur au-dessus de la base du pivot.

Comme ce mode de construction du pivot donnerait lieu à de grands frottements, s'il était appliqué à de très grands ponts, dans l'hypothèse où il aurait à porter la plus grande partie de la charge, plusieurs sociétés de construction y ont substitué l'appareil à antifriction de Sellers.

Appareil à antifriction de Sellers. — Cet appareil représenté fig. 4 et 5, pl. XXII, consiste en une série de petits troncs de cône d'acier interposés entre deux bagues de même matière, fixées, l'une sous la crapaudine centrale, l'autre sur une calotte en métal portant sur le sommet arrondi du pivot par une cavité hémisphérique centrale. Ces cônes sont terminés par des segments sphériques s'appuyant contre les rebords des rainures où ils sont engagés.

La mobilité de la calotte par rapport au pivot garantit le fonctionnement des cônes de friction contre les effets des trépidations et des oscillations causées par les inégalités de la voie sur laquelle circulent les galets extérieurs.

Pour les ponts d'un poids considérable, on dispose souvent, l'une à l'intérieur de l'autre, deux couronnes de galets coniques du même système.

La Keystone Bridge C^{y} emploie ce système avec un perfectionnement consistant à relier les galets par une couronne directrice destinée à les maintenir à des intervalles égaux.

L'inventeur de l'appareil à antifriction, M. Sellers, construit sur ce principe (fig. 1 à 7, pl. XXXII) des plaques tournantes de 15 mètres de diamètre pesant 11 tonnes, qu'une force de moins de 1 kilogramme appliquée à la circonférence suffit pour faire tourner. L'emploi de cet appareil, appliqué à des ponts pesant jusqu'à 272 tonnes, peut dispenser de recourir pour leur manœuvre à l'emploi de la vapeur.

Il existe à Chicago un pont tournant pour chemin de fer, ouvert en moyenne quatre-vingt fois par jour, sur lequel passent des trains multipliés, qui est manœuvré à la main bien que pesant 236 tonnes, et que deux hommes peuvent ouvrir ou fermer en 45 secondes.

Dans le grand pont de Raritan Bay précédemment décrit, l'appareil à antifriction est unique; il se compose de dix galets de $0^{m},30$ de longueur roulant sur des chemins d'acier encastrés à la partie supérieure d'un tambour en fonte de 1 mètre de diamètre, formant la partie fixe du pivot; vingt boulons de $0^{m},07$ de diamètre servent à suspendre le cadre portant les fermes du pont à une crapaudine de forme carrée, embrassée par les chevêtres et traversée en son centre par un arbre vertical servant principalement à guider le mouvement de rotation.

Il y a trente galets extérieurs à jante en acier martelé de $0^{m},59$ de diamètre et de $0^{m},30$ de largeur. Le pont est mis en mouvement par deux engrenages placés aux extrémités d'un même diamètre et en prise avec une grande roue dentée fixée au-dessus du tambour. Ces engrenages sont commandés par une machine à vapeur à deux cylindres de $0^{m},20$ de diamètre et $0^{m},254$ de course, qui refoule aussi l'eau nécessaire pour la manœuvre des verrins hydrauliques (fig. 1 à 4, pl. XXIII).

Le système de rotation employé par l'American Bridge C^{y} remplace l'appareil à antifriction par des disques en acier interposés

entre le pivot et la crapaudine mobile; celle-ci a en outre cela de particulier, que les arcs-boutants ordinairement employés pour reporter la charge de la couronne sur le pivot font place à des tirants dont les extrémités supérieures sont saisies entre deux calottes en tôle surmontant la crapaudine.

Dans l'appareil de rotation employé au pont du Passaïc River déjà cité (fig. 7 à 12, pl. XXII), le chevêtre central est supporté au moyen de 12 boulons par la crapaudine, munie d'un appareil Sellers à double cercle de galets; il n'existe de galets sous le cercle de rotation extérieur qu'aux extrémités des deux diamètres perpendiculaires correspondant à l'axe longitudinal du pont et à l'axe du chevêtre.

Répartition des charges entre le pivot et les galets extérieurs. — La plupart des constructeurs cherchent à reporter presque tout le poids des ponts tournants sur le pivot. Les galets ne servent plus alors qu'à empêcher le pont de vaciller pendant sa rotation, et à prévenir, pendant qu'il est en place, les oscillations dues au défaut de symétrie des surcharges; on règle les tirants reliant le tambour extérieur au pivot, de manière à laisser un certain jeu entre le dessus du tambour et les galets, ou à ne laisser supporter à ceux-ci qu'une très faible charge.

Certains ingénieurs, cependant, construisent l'appareil de rotation de manière à reporter la plus grande partie de la charge sur les galets extérieurs. C'est ce qui a lieu, par exemple, dans le pont tournant de Charlotte, construit par M. Mac Donald, où le tambour portant toute la charge du pont, qui est de près de 400 tonnes, repose, par l'intermédiaire d'une couronne conique, sur des galets parcourant un chemin de même forme, tandis que le pivot a pour principal office de guider le mouvement de rotation.

M. Shaler Smith, qui admet également cette disposition de l'appareil de rotation, prétend que le frottement à vaincre sur le pivot, quand on y concentre toute la charge, ce qui conduit à lui donner un grand diamètre pour les ponts d'une grande longueur, peut devenir supérieur, en raison de ce grand diamètre, à celui que l'on aurait à surmonter en répartissant toute la charge sur la couronne de galets extérieurs.

Expériences de M. Shaler Smith sur la rotation des ponts tournants. — En fait, les expériences entreprises par cet ingénieur sur un très grand nombre de ponts de grande portée, reposant les uns

presque entièrement sur le pivot, les autres sur des galets extérieurs d'un diamètre et d'un nombre très variable, permettent tout au moins de conclure que les deux systèmes peuvent être considérés comme équivalents au point de vue de la facilité de la rotation. Ces expériences, faites à l'aide de dynamomètres, ont d'ailleurs accusé de très grandes variations dans les résistances à vaincre, suivant la direction et l'intensité du vent. Ces efforts ont varié parfois du simple au quintuple et au décuple dans une série d'observations faites sur le même pont.

Les efforts moyens ne varient cependant, quand on passe d'un pont à un autre, que dans des limites assez étroites, ainsi qu'on peut en juger par le tableau suivant :

INDICATION DE L'EMPLACEMENT des ponts tournants.	LONGUEUR TOTALE du pont en mètres.	POIDS		RAYON de la couronne des galets en mètres.	NOMBRE de galets.	DIAMÈTRE des galets en mètres.	CHARGE sur chaque galet en kilogrammes.	FROTTEMENT par 1000 kilogr. de charge en kilogrammes.
		TOTAL du pont en tonnes.	PAR MÈTRE courant en kilogr.					
Tennessee River..	87,54	173,0	1970	4,02	22	0,813	7873	6,98
Cumberland River.	86,62	173,0	2000	4,02	22	0,813	7850	5,77
Green River......	83,32	179,0	2140	3,66	20	0,813	8955	7,32
Louisville........	80,52	237,0	2940	4,12	24	0,813	9877	5,33
Nashville.........	85,40	175,0	2050	4,20	24	0,825	7312	7,43
Arkansas.........	107,97	285,0	2730	3,97	24	0,406	11862	7,00
Rock-Island......	112,24	682,0	6 90	4,58	34	0,762	20071	7,36
Salt River........	92,42	182,0	1970	3,34	34	0,457	5362	7,71
White River......	85,71	183,0	2140	3,34	34	0,457	5377	3,50
Big red River.....	80,22	172,5	2130	3,34	34	0,457	5071	7,18
Little red River...	61,00	148,2	2420	3,34	34	0,457	4359	7,21

D'après les résultats de ces expériences, il serait indifférent, aussi bien de reporter sur le pivot une partie plus ou moins grande de la charge totale, que d'employer des galets de plus ou moins grand diamètre.

M. Shaler Smith estime que le nombre, le diamètre et la largeur des galets doivent être calculés, eu égard à leur charge, de telle sorte que pour une roue de $0^{m},46$ de diamètre, le poids réparti par centimètre de largeur de jante ne dépasse pas 360 kilogrammes, ce poids pouvant être augmenté proportionnellement au diamètre[1].

1. M. Sellers admet que les galets peuvent supporter sans danger de rupture une

Ainsi un galet de $0^m,69$ de diamètre et de $0^m,10$ de largeur de jante pourrait être chargé de $10 \times 360 \times \frac{69}{46} = 5400$ kilogrammes. La rigidité du tambour transmettant les charges aux galets doit d'ailleurs être assez grande pour reporter ces charges sur un nombre suffisant de galets de part et d'autre des montants verticaux de la partie centrale des fermes.

Le même ingénieur recommande de donner une certaine flexibilité à la couronne reliant les galets, de manière à réduire l'influence des résistances dues aux imperfections du chemin sur lequel roulent les galets, et d'éviter de donner aux galets une trop grande largeur de jante pour le même motif.

Pour les ponts à petites portées ayant des fondations peu solides et reposant sur des maçonneries médiocres, il admet qu'il y a avantage à reporter toute la charge sur le pivot central, disposé de telle sorte que le contact se fasse par des surfaces planes, sans dépasser par centimètre carré une charge de 56 kilogrammes; suivant lui, les frottements ne pourraient être diminués par aucun système d'appareil à antifriction[1].

Mécanisme de rotation. — La force motrice pour la rotation des ponts est fournie généralement par des machines à vapeur installées, soit à une certaine hauteur au-dessus du tablier, comme au pont d'Atchison sur le Missouri, soit au-dessous du tablier à l'intérieur du tambour, et elle est transmise par un mécanisme semblable à celui qui a déjà été décrit pour le pont de Raritan Bay.

Un système de manivelles et d'engrenages permet de suppléer au besoin à la force mécanique par une manœuvre à bras d'homme.

On a commencé aussi à employer l'eau comprimée pour la rotation. M. Gleim, dans son mémoire sur les ponts américains, en cite deux exemples : celui d'un pont établi à New-York pour le prolongement de la 3e avenue à travers la rivière de Harlem, où l'on a utilisé la pression de l'eau des conduites de la ville, et le grand

---

charge de 1250 kilogrammes par centimètre courant de ligne de contact, c'est-à-dire une charge de trois à quatre fois plus considérable que celle admise par M. Shaler Smith.

1. M. Shaler Smith donne, pour déterminer la résistance à vaincre tangentiellement à la circonférence des galets, une formule établie de la manière suivante :

Soit P le poids total du pont, E la résistance totale, D le diamètre du cercle de roulement, n la durée en minutes nécessaire pour la rotation en y employant un seul

pont à deux étages de Rock Island où l'eau est accumulée à une pression de 356 kilogrammes par c. q. par une machine à vapeur de quatre chevaux installée au-dessus de l'étage supérieur. Une chaîne, fixée à l'une de ses extrémités, et aboutissant au piston de la presse hydraulique portée par le tambour de rotation après s'être enroulée sur ce tambour, sert à produire la rotation dans un sens; il existe un autre appareil semblable pour la rotation dans l'autre sens. Les presses, installées verticalement, ont $3^m,05$ de course et $0^m,127$ de diamètre; elles sont alimentées par une solution de glycérine qui résiste à la congélation.

Les deux corps de pompe font office de réservoir l'un pour l'autre; le liquide ne fait que passer de l'un à l'autre. La pression étant la même pour tous deux, la double travée tournante se trouve tenue en équilibre, sauf quand on fait passer le liquide de droite à gauche, ou inversement, au moyen des pompes de compression.

Cette disposition a été adoptée pour pouvoir manœuvrer avec plus de sécurité le pont, abrité à l'une de ses extrémités par les bâtiments de l'Arsenal des États-Unis, et exposé à son autre extrémité

---

homme dont la force sera multipliée par les engrenages dans le rapport de 1 à 40; on aura d'abord :

$$E = 0,007\ P$$

puis

$$n = 0,00056\ E\ D.$$

Pour un pont d'une portée totale de 120 mètres, pesant environ 350 tonnes, et supporté par un cercle de galets de 8 mètres de diamètre, on trouve :

$$E = 2450^k \text{ et } n = 0,00056 \times 8 \times 2450 = 11 \text{ minutes.}$$

Avec deux hommes et une transmission dans le rapport de 1 à 20, cette durée serait réduite de moitié.

Pour les plaques tournantes reposant sur un pivot central, M. Shaler Smith donne pour la résistance à exercer à la circonférence du pivot, la formule :

$$E = 0,09\ P.$$

Le diamètre du pivot en centimètres, en tenant compte de la charge maxima de 56 kilogr. par c. q. à lui faire supporter, sera exprimé par

$$d = \sqrt{\frac{P}{440,000}}$$

et la durée en minutes de la rotation dans l'hypothèse de la manœuvre par un seul homme, sera encore ;

$$n = 0,00056\ Ed.$$

En prenant les mêmes données que tout à l'heure on trouverait :

$$d = 0,89 \quad E = 0,09 \quad P = 31500 \text{ et } n = 15',7$$

Le temps de la manœuvre serait donc augmenté de moitié.

à l'action de vents violents, qui pourraient lui imprimer une accélération dangereuse.

Résumé. — En résumé les ponts tournants, qui sont beaucoup plus multipliés en Amérique qu'en Europe sur le parcours des voies ferrées, ont cela de particulier qu'ils sont toujours construits pour démasquer à la fois deux passes navigables égales d'un grand débouché. Construits d'après les mêmes principes que les ponts européens similaires, ils ne s'en distinguent par aucune disposition essentielle ; on s'est seulement préoccupé davantage d'en assurer la stabilité pendant la fermeture, et d'y diminuer les frottements considérables que tend à produire, pendant la rotation, le poids énorme de la construction, et les procédés employés dans ce double but en Amérique pourraient aussi recevoir d'utiles applications dans d'autres pays.

Disons, en terminant, que les ponts tournants établis sur les grands fleuves des Etats-Unis, malgré l'ampleur de leur double débouché, et la rapidité de leur manœuvre, n'en constituent pas moins de sérieux obstacles pour la navigation, tant à cause de l'instabilité du lit des cours d'eau où il arrive fréquemment que le chenal s'écarte des travées tournantes, que du nombre toujours croissant de ces ponts. En raison de cette multiplication, ayant pour résultat d'occasionner à la navigation des retards qui en compromettent la régularité, et qui nuisent à l'économie des transports, le général Warren, chargé de faire en 1877 un rapport sur les ponts du Mississipi, est arrivé à la conclusion que le seul moyen de concilier les exigences de la navigation avec l'extension du nombre des ponts pour chemins de fer devrait consister à ne construire partout que des travées fixes de grande ouverture et d'une hauteur modérée, qui imposeraient seulement, pour la construction des cheminées des bateaux à vapeur, des sujétions sans inconvénients sérieux pour leur service.

Montage, réglage et épreuves des ponts métalliques.

Montage ordinaire. — Le montage des ponts en bois ou en métal construits dans les divers systèmes décrits plus haut, par suite de l'isolement des travées et du système de construction des fermes, dont chaque pièce n'admet que des efforts dans un sens, n'est pas en général susceptible de se prêter à l'emploi du procédé du lan-

çage auquel on a souvent recours en Europe ; il se fait donc le plus souvent sur place au moyen d'échafaudages reposant sur un certain nombre de points d'appui.

Habituellement, on établit préalablement un certain nombre de palées en charpente, embrassant un ou plusieurs panneaux de la travée, qui reçoivent un tablier provisoire placé un peu au-dessous du niveau de la semelle inférieure, et ce tablier sert à supporter un deuxième étage de fermes provisoires comprenant autant de poteaux verticaux solidement contreventés qu'il y a de panneaux dans les fermes définitives.

Sur le tablier provisoire inférieur, on assemble d'abord les pièces de la semelle inférieure; la semelle supérieure est élevée à l'aide des fermes provisoires de l'étage supérieur un peu au-dessus de sa position définitive, ce qui permet de mettre plus facilement en place les montants verticaux et les diagonales. On fait ensuite descendre progressivement la semelle supérieure pour l'assembler avec les pièces de l'âme; tout le poids de la ferme reposant alors sur la semelle inférieure, on serre à bloc tous les tirants, en tournant les écrous dont ils sont munis, après avoir mis en place toutes les pièces du contreventement transversal dont on facilite le montage en écartant tout d'abord les fermes. Ce serrage suffit pour soulever la ferme au-dessus de l'échafaudage et pour la faire porter uniquement sur les piles ou culées[1].

La travée de 157 mètres du pont de la ligne du Cincinnati-Southern sur l'Ohio a été ainsi montée au moyen d'un premier échafaudage inférieur comprenant 33 palées, réunies par trois étages d'entretoises longitudinales et transversales, sur le plancher duquel on est venu élever un pareil nombre de fermes supérieures, d'une hauteur un peu plus grande que celle des fermes définitives. Ces fermes ont servi à descendre en place les arbalétriers, les tirants et la semelle supérieure.

---

1. Les frais du montage ainsi opéré sont évalués aujourd'hui sur le réseau des chemins de fer de Pennsylvanie pour les travées de 15 à 60 mètres, à 0 fr. 056 par kilogramme de fer, le prix du kilogramme mis complètement en place étant de 0 fr. 61 et se décomposant ainsi qu'il suit :

Fer brut rendu à l'usine	0 fr. 333
Travail à l'usine	0 222
Montage	0 056
	0 fr. 611

Pour éviter que les fermes ne s'infléchissent sous leur poids propre et sous les surcharges, et pour placer les pièces qui les composent, au moment où elles travailleront, dans les positions où on les suppose pour le calcul de leurs dimensions, il est d'usage de donner aux fermes un certain surhaussement (*camber*) ou cambrure, qui est pour les petites portées de 1/50. Étant donné ce surhaussement, il est facile d'en déduire le surcroît de longueur à donner à la semelle supérieure par rapport à l'inférieure au moment de la pose, pour que les deux semelles deviennent horizontales et d'égale longueur, lorsque le surhaussement disparaîtra, en les considérant comme deux arcs de cercle concentriques séparés par une distance égale à la hauteur de la ferme, et ayant pour flèche le surhaussement.

Comme en outre dans cette position surhaussée les diagonales de chaque panneau changent de longueur, chaque panneau rectangulaire étant transformé en trapèze, on a soin de tenir compte de ce changement, qui se déduit approximativement de l'allongement de la semelle supérieure réparti proportionnellement entre les panneaux, pour le calcul des longueurs à donner à ces diagonales dans la ferme surhaussée.

Pour les ponts de grande portée où un surhaussement de 1/50 serait exagéré, on le calcule d'après la différence de longueur, correspondant pour les deux semelles aux efforts de compression et de tension maxima, en y ajoutant un complément égal à la somme des abaissements dus dans l'hypothèse du maximum de charge à la contraction des montants et à l'allongement des tirants. On donne alors à toutes les pièces des longueurs convenables pour que dans la même hypothèse les allongements ou contractions les ramènent aux longueurs qu'elles doivent avoir dans la ferme droite.

Dans les ponts bien construits, le surhaussement ne disparaît pas tout entier sous les plus fortes charges.

On a soin en outre dans les pièces qui forment les semelles supérieures, de disposer, suivant les normales à la courbe de surhaussement, assimilée à un cercle ou à une parabole, les joints destinés à devenir verticaux quand le surhaussement disparaîtra.

Rapidité du montage. — En parlant de l'exécution à l'usine des pièces entrant dans la composition des fermes, nous avons constaté que l'emploi, par les diverses compagnies de construction, de types courants, applicables, avec des dimensions uniformes, à

toute une série de pièces dans un même ouvrage, rendait cette exécution extrêmement rapide; que des épreuves multipliées et le montage à blanc des fermes, facilité par le système particulier des assemblages, permettaient en outre de la soumettre à une vérification minutieuse.

Il s'ensuit que le montage définitif, une fois que les échafaudages sont prêts, peut être accompli en très peu de temps par des ouvriers ordinaires.

On estime qu'il suffit en général d'une équipe de 20 hommes pour monter en une seule journée une ferme de 45 mètres de portée, et de deux à trois jours avec le même personnel pour une portée double.

Nous avons déjà eu occasion de signaler la rapide exécution du pont de Nicholson sur le Delaware, Lackawanna et Western R.R., comprenant trois travées de 40 mètres, formant un poids total de 175 tonnes de fer, exécuté et monté en trente-trois jours comptés à partir de la commande; le montage seul, bien qu'effectué au mois de décembre et contrarié par la neige, n'a demandé que sept jours.

Sur le réseau des chemins de fer de Pennsylvanie, à peu de distance du grand pont tournant de Raritan Bay, le pont en bois de New-Brunswick (New-Jersey), de 276 mètres de longueur, construit en 1837, et porté par des palées d'une hauteur variant entre $10^m,50$ et 16 mètres, avait été complètement détruit par un incendie dans la matinée du 9 mars 1878; il n'a pas fallu plus de soixante-sept heures pour lui substituer un pont provisoire; le 14 mars au soir la circulation était rétablie, bien que les travaux de reconstruction eussent été fréquemment dérangés par la pluie.

On pourrait citer bien d'autres exemples de l'extrême rapidité avec laquelle se fait le montage des ponts, soit en bois, soit en métal, facilité par l'absence complète de rivures à faire sur place, et par le mode d'assemblage au moyen de simples boulons.

Réglage des pièces. — Le montage une fois terminé, on procède habituellement au réglage des pièces de l'âme qui ne doivent travailler qu'accidentellement.

Les ingénieurs américains sont partagés sur le meilleur mode à suivre pour cette opération. Doit-elle être faite sous la charge propre du pont, sous la surcharge uniforme d'épreuve, ou, pour chaque pièce, pour des positions déterminées de l charge roulante?

Si dans une ferme à semelles parallèles du système Linville, on se contente de raidir ces pièces sous la charge permanente, de telle sorte qu'elles éprouvent seulement un commencement de tension, on arrive à ce résultat, que le passage des surcharges les tend immédiatement quand il a lieu dans un sens, et les détend quand il a lieu dans l'autre.

Si l'on effectue le même serrage sous la surcharge d'épreuve supposée uniforme, la suppression de cette surcharge aura pour effet de raidir encore les contre-tirants. Cette tension, venant à s'accr[illegible]e plus tard de celle que déterminera le passage des surcharges dans un certain sens, pourra excéder les limites de leur résistance, surtout si, par l'effet d'un abaissement de température, les contre-tirants éprouvent une contraction plus forte que les tirants.

Si enfin l'on effectue ce serrage, de telle sorte que chaque contre-tirant soit rigide dans la position de la surcharge la plus défavorable à sa rigidité, on tombe à plus forte raison dans l'inconvénient précédent. On peut en outre ainsi changer la répartition des efforts dans les montants verticaux et les tirants d'une manière nuisible à leur résistance.

Le réglage sous la charge permanente est en définitive celui qui, correspondant le mieux aux conditions moyennes du travail des pièces, les expose le moins à des efforts exagérés et tend le moins à troubler la répartition des efforts. C'est aussi le plus pratiqué pour tous les systèmes de fermes[1]. Ces différents systèmes se prêtent d'ailleurs inégalement bien à cette opération ; les fermes à montants tous inclinés et à plusieurs croisements sont évidemment celles où cette opération est la plus facile. En agissant sur les tirants, on peut à volonté accroître ou diminuer la flèche prise par le tablier, et on se sert souvent de ce moyen pour remédier à l'affaissement des travées des ponts du système Howe.

Difficultés rencontrées au montage de certains ponts. — La multiplication des points d'appui nécessaires pour le montage, a donné lieu souvent à de sérieuses difficultés sur les fleuves sujets aux débâcles et aux crues violentes, comme tous les cours d'eau du bassin du Mis-

---

1. Ce mode de réglage est notamment pratiqué par M. J. M. Wilson pour les ponts des lignes du Pennsylvania R.R. Il se contente de donner aux contre-tirants une tension très faible ; on juge par le son de l'uniformité des tensions.
Tous les printemps et automnes, on vérifie le réglage et on le rectifie, s'il y a lieu.

sissipi. Pour empêcher les échafaudages d'être entraînés, on entoure le plus souvent les lignes de pieux qui les supportent de *cribs* ou encrèchements, formés de cadres superposés que l'on remplit de pierres; c'est ce qui a été fait par exemple aux ponts de Kansas City et de Louisville.

Cette précaution a été plusieurs fois insuffisante; aux ponts sur l'Ohio, à Louisville et à Cincinnati, les échafaudages ont été emportés, et ce n'est qu'au moyen de cintres retroussés, offrant moins de prise à l'action des eaux, qu'on a pu terminer le montage du premier de ces ponts; la destruction de l'échafaudage préparé pour le second, par une débâcle, a occasionné un retard de plusieurs mois.

Au pont de Saint-Charles sur le Missouri, on a fini par établir de véritables piles provisoires, reposant sur des pieux et entourées par des *cribs* de $5^{m},40$ de large et de 15 mètres de long, au nombre de trois par travée, sur lesquelles on est venu placer, à l'aide de grues flottantes, des fermes en bois du système Howe de 24 mètres de portée qui ont reçu les échafaudages proprement dits, élevés de 36 mètres au-dessus du niveau de l'eau.

Montage du pont de Saint-Louis. — Les inconvénients du système ordinaire de montage ont conduit à adopter pour le pont de Saint-Louis sur le Mississipi un système tout différent, ayant pour principe la suspension des fermes par en haut, en partant des naissances. Comme les tubes des arcs et les diagonales qui les reliaient pouvaient indifféremment supporter dans une certaine mesure des efforts alternatifs de compression et de tension, on en a profité pour les monter en porte-à-faux sur une certaine longueur à partir des points d'appui, en les reliant solidement aux maçonneries. Cette longueur, d'après les limites des efforts admis dans les pièces des arcs, a été restreinte au quart de la longueur de l'arc. Pour achever le montage, on a élevé sur les piles et les culées des tours en charpente, d'où l'on a fait partir des câbles attachés à l'extrémité de chaque premier quart d'arc, qui, ainsi suspendu, a fourni un point d'appui pour la continuation du montage en porte-à-faux. D'autres câbles auxiliaires, portés par les mêmes tours en charpente et attachés en différents points de l'arc à partir des naissances, ont été en outre employés pour soulager les portions d'arc en porte-à-faux et les câbles principaux.

Les figures 6 et 7, pl. XIII, donnent une idée de la disposition générale de ces câbles.

Pour les câbles de suspension, constitués par des barres à œils semblables à celles des ponts suspendus, il y avait à se préoccuper de l'allongement et du raccourcissement sous l'influence des variations de température qui devaient déformer le profil longitudinal des fermes, et, en faisant osciller les portions de fermes mises en place, pouvaient occasionner de grandes difficultés pour la fermeture des arcs. On est parvenu à s'affranchir dans une certaine mesure de cette cause d'embarras, en réalisant automatiquement la fixité des points d'attache des câbles au moyen de presses hydrauliques.

Les tours en charpente portant les câbles reposaient sur les pistons de ces presses, où la pression était réglée de manière à faire équilibre aux composantes verticales des tensions des câbles, augmentées du poids des tours et des appareils de levage. La course du piston était calculée à l'avance, pour qu'entre certaines limites de température, cette course compensât la variation du niveau du point d'attache résultant des oscillations de la température.

Ce procédé de réglage n'a toutefois été employé que pour les quatre câbles reliant le sommet des tours au premier quart de chaque ferme centrale. Pour les autres câbles qui ne devaient supporter que des tensions notablement plus faibles, on s'est servi de tendeurs à vis.

Les quatre fermes de chaque travée ont été d'abord montées parallèlement jusqu'au premier quart à l'aide de câbles auxiliaires, et en soulageant les fermes latérales non suspendues aux câbles au moyen du contreventement transversal; puis on a achevé le montage des fermes centrales, y compris la pose des tubes formant clés, et en continuant à s'aider du même contreventement, on a terminé par la fermeture des arcs latéraux.

L'insertion des tubes formant clés et le serrage de ces clés a été une opération très difficile par suite de la température défavorable à laquelle a dû se faire cette double opération.

Pour tenir compte de la contraction que subissaient les arcs sous la charge permanente, on avait dû les faire plus longs de 8 centimètres environ. Un abaissement de température convenable aurait pu faire disparaître cet allongement; cette circonstance ne s'étant pas réalisée, on a dû se servir, pour la fermeture des arcs, de voussoirs à raccourcissement facultatif, formés par la réunion de tubes semblables aux autres au moyen d'un goujon présentant deux filets de

vis en sens contraires qui permettaient de diminuer leur longueur totale de la quantité nécessaire pour l'insertion. Une fois cette opération accomplie, on serrait le goujon d'assemblage de manière à produire dans l'arc le raccourcissement nécessaire, en s'aidant des câbles de suspension pour diminuer la pression sur la clé, et profitant en outre des variations de température favorables à cette opération.

On a pu ultérieurement remplacer des tubes avariés pendant le montage, en reportant la charge de l'arc correspondant sur les arcs latéraux au moyen du contreventement transversal, le poids mort additionnel qui en résultait sur une ferme adjacente ne dépassant pas la charge roulante pour laquelle elle avait été calculée.

Montage du viaduc du Kentucky River. — Le montage des fermes du viaduc de Kentucky River a pu être effectué par un procédé analogue à celui que nous venons de décrire pour le pont de Saint-Louis, grâce à la disposition des semelles, susceptibles de résister à la fois à l'extension et à la compression. A partir des culées, où l'on pouvait utiliser comme massifs d'ancrage les maçonneries des tours précédemment construites en vue de l'établissement d'un pont suspendu, on a monté les fermes des travées extrêmes en porte-à-faux jusque vers le milieu de ces travées, en s'arrêtant aux points des fermes où, par l'effet du porte-à-faux, les efforts maxima dans les pièces atteignaient 15 kilogrammes par millimètre carré; on a ensuite soutenu les fermes en ces points au moyen de piles provisoires en charpente, et continué le montage jusqu'aux piles définitives au delà desquelles l'opération s'est poursuivie jusqu'à la rencontre des deux demi-travées du milieu.

Les fig. 13 et 14, pl. XXI, représentent les deux états successifs d'avancement du montage au milieu de chaque travée.

Le montage pour chaque moitié du tablier a commencé par la mise en place des montants verticaux extrêmes avec une amorce de semelle inférieure, sous laquelle on avait préalablement disposé le chariot des galets de friction; en arrière des montants, on a taillé le roc à pic et intercalé des verrins entre le roc et l'about de la semelle inférieure. L'extrémité de la semelle supérieure a été ancrée à la tour en maçonnerie au moyen de tirants munis d'écrous. Ces écrous et les verrins appliqués à la semelle inférieure permettaient de faire varier à volonté l'inclinaison de la ferme et, dans une certaine mesure, la position de son extrémité libre.

La mise en place des différentes pièces de la ferme s'est faite à l'aide d'une grue roulante, portée sur la portion de la ferme déjà montée, et présentant à sa partie antérieure une flèche qui permettait de descendre ces pièces en place. Au fur et à mesure de l'avancement, on plaçait, en même temps que ces pièces, des tirants auxiliaires parallèles à la semelle supérieure, pour la soulager.

Les poutres en forme de caissons, composant les deux semelles ont été assemblées au moyen de rivures faites sur place. Pour cela, à l'intérieur des plaques destinées à former couvre-joints et prolongeant chaque portion de semelle déjà mise en place, et munie de son boulon d'articulation encastré préalablement à l'usine à la presse hydraulique, que l'on soutenait au moyen des tirants inclinés, on introduisait l'extrémité de la pièce suivante en l'amenant à l'aide de la grue roulante jusqu'au contact des faces des extrémités, et on procédait ensuite à la rivure des plaques formant couvre-joints avec cette pièce.

La section du boulon encastré, comptée comme section effective de rivet, permettait de diminuer d'autant le nombre des rivets, ainsi que la longueur des plaques d'assemblage.

Chaque pile provisoire en bois était surmontée de verrins qui permettaient de soulever la ferme à son arrivée sur cette pile et de soulager ainsi les tirants.

L'avancement a marché en moyenne d'une longueur de panneau, soit de $5^{m},50$ environ, par jour.

On a rencontré quelques difficultés à la rencontre des piles définitives et à la jonction des fermes au milieu de la longueur du viaduc, à cause de la basse température à laquelle se faisait le montage. La contraction de la travée ayant eu pour effet d'en écarter l'extrémité du sommet de la pile, on a dû déplacer un peu celle-ci, ce qui s'est fait au moyen du double système de rouleaux de dilatation qui la supportaient. Quand il s'est agi d'effectuer la jonction, l'intervalle variable de $0^{m},05$ à $0^{m},10$ qui existait entre les extrémités des demi-fermes centrales a été annulé en agissant sur les verrins placés contre les abouts des semelles inférieures, et relâchant les écrous des tirants aux extrémités des semelles supérieures.

On avait dû, ainsi que nous l'avons déjà indiqué en parlant de la superstructure du viaduc, river provisoirement les semelles inférieures au droit des articulations placées au quart des travées extrêmes (joints XVI), pour obtenir la rigidité nécessaire pendant le

montage; lorsqu'on coupa ces rivets, les deux tronçons des semelles prirent un écartement moyen de 0m, 0075.

Le montage, commencé le 16 octobre 1876, a été terminé le 20 février suivant, c'est-à-dire en cent seize jours de travail environ. Le nombre d'ouvriers employés au montage a varié entre cinquante et soixante.

Montage du pont de Point Bridge. — Le montage du pont suspendu de Point Bridge, dont nous avons décrit précédemment les principales dispositions, a également présenté des particularités intéressantes [1].

Après avoir scellé les ancrages dans les maçonneries des culées, et monté sur des échafaudages les travées latérales, on a exhaussé ces échafaudages de manière à mettre simultanément en place les chaînes de retenue et l'ossature métallique des tours; puis on a placé sur le sommet des tours les croupières destinées à supporter les chaînes de suspension de la travée centrale, en les éloignant de 0m,04 de leurs positions définitives, pour tenir compte de leur déplacement ultérieur sous l'action du poids de la construction.

Le montage des chaînes de suspension s'est fait au moyen de deux chaînes provisoires, formées chacune par la réunion de trois câbles d'acier de 0m,062 de diamètre, ligaturés ensemble. Ces chaînes provisoires, qui ont servi ensuite au contreventement sous le tablier du pont, étaient placées à 0m,75 de distance horizontale de part et d'autre des chaînes définitives, et reliées aux chaînes de retenue par des chaînons provisoires et des vis de réglage (fig. 11 et 12, pl. XIV).

Elles pouvaient supporter sans se rompre une charge de 1260 tonnes et devaient travailler au tiers de cet effort. On les a surélevées au milieu de leur longueur de 2m,40 au-dessus du niveau assigné en ce point aux chaînes définitives, de manière à tenir celles-ci, pendant qu'elles seraient portées par les câbles provisoires, un peu au-dessus de ce niveau, en tenant compte de l'allongement que les câbles prendraient sous les charges, et à n'avoir à la fin qu'à lâcher les câbles pour les mettre en place. A l'aide de deux chariots roulants circulant sur les chaînes provisoires, dont les fig. 13, 14, 15, pl. XIV, font comprendre les dispositions, on a procédé à la mise en place des maillons d'une première chaîne définitive en commençant par

1. Ce pont a été construit par la Compagnie de l'American Bridge dont l'ingénieur, M. E. Hemberlé, a dirigé le montage après avoir élaboré le projet de l'ouvrage.

le milieu, pour se rapprocher progressivement des tours, où, grâce aux dispositions indiquées précédemment, il a été facile de faire la jonction avec les croupières. Cette jonction une fois opérée, on a desserré les vis de réglage et abandonné la chaîne définitive à sa propre charge.

La seconde chaîne définitive a été mise en place au moyen des deux mêmes câbles provisoires que l'on a transportés parallèlement; ces deux mises en place ont demandé l'une six semaines, l'autre un mois.

On a ensuite monté le contreventement transversal entre les chaînes et fixé les tiges de suspension. Au fur et au mesure de l'avancement de cette opération, on montait également les fermes du tablier de la travée centrale, portées provisoirement par les travées latérales, sur lesquelles on les assemblait par longueurs de 30 mètres, qu'on amenait sur des rouleaux au droit des tiges de suspension. La mise en place de toutes les pièces du tablier suivait aussitôt, ainsi que la pose des câbles de sûreté (*storm cables*).

Une fois le tablier terminé et les derniers câbles mis en place, on a enlevé tous les échafaudages supportant les chaînes de retenue, et le pont a été abandonné à lui-même dans les conditions d'un pont suspendu ordinaire. On a pu alors constater que le passage d'un seul chariot suffisait pour déterminer dans le tablier des ondulations longitudinales considérables, tandis que la rigidité transversale était assez grande.

On a ensuite procédé, à l'aide d'échafaudages portés par les chaînes, au montage des semelles supérieures des fermes paraboliques formant le contreventement longitudinal, en commençant par les tours et s'avançant vers la partie centrale, où les dernières pièces n'ont été posées qu'après qu'on a eu pris sur place leurs longueurs exactes, telles qu'elles résultaient de la position des pièces contiguës. Toutes les parties de ces semelles ont été assemblées au moyen de rivures, et on a donné à chaque semelle, sur la longueur de la demi-travée correspondante, une faible cambrure verticale. Au moment de la jonction des semelles au milieu de chaque chaîne, ces semelles, supportées par les échafaudages, n'éprouvaient aucune tension provenant du poids propre du pont, et elles se trouvaient très sensiblement dans les positions qu'elles devaient prendre après son achèvement complet, les échafaudages ayant un poids équivalent à celui des pièces du contreventement longitudinal restant à poser.

La longueur exacte des bielles de contreventement a été repérée exactement sur place avant de procéder au percement des trous servant à les assembler au moyen de boulons avec les chaînes. Une fois ces bielles et les tirants en diagonales mis en place, tous les échafaudages ont été enlevés; on a réglé les tensions des tiges de suspension, raidi légèrement les tirants du contreventement longitudinal; puis on a monté les fermes destinées à relier tous les 30 mètres les chaînes de suspension au tablier; cette dernière opération a eu pour résultat de faire cesser complètement les ondulations longitudinales.

Nous avons déjà fait connaître précédemment les résultats extrêmement satisfaisants des épreuves[1].

Épreuves.

Les cahiers des charges pour la construction des ponts métalliques stipulent habituellement que la flèche, prise par chaque travée sous la charge d'épreuve, ne dépassera pas 1/1200 de la portée. L'épreuve est faite par des trains composés d'un certain nombre de locomotives, suivies de wagons de marchandises à pleine charge, qu'on fait stationner pendant quelque temps sur chaque travée, puis circuler avec une vitesse qui ne dépasse généralement pas 40 kilomètres à l'heure.

Le tableau suivant donne les résultats des épreuves faites sur un certain nombre de ponts :

---

1. Le poids de la superstructure se décompose ainsi qu'il suit :

Travées extrêmes	149 tonnes.
Ancrages et chaîne de retenue	472 »
Chaînes centrales	571 »
Tours	324 »
Contreventement longitudinal	195 »
— latéral	51 »
Tiges de suspension	40 »
Fermes du tablier central	74 »
Entretoises et longrines	87 »
Garde-corps et rails	51 »
Câbles d'acier sous le tablier	18 »

Le poids total de métal est de 2098 tonnes, dont 2014 de fer et 32 d'acier. Le cube du bois du tablier est de 566^{m3}.

La dépense totale s'est élevée à 2,622,500 fr., savoir :	Maçonnerie et fondations	997,500 fr.
	Superstructure	1,350,000 »
	Dépenses diverses	275,000 »

INDICATION du PONT.	SYSTÈME de FERMES.	PORTÉES en mètres.	FLÈCHE au milieu en millimètres.	RAPPORT de la flèche à la portée.	CHARGE EN KILOGRAMMES par m. courant		COMPOSITION des TRAINS D'ÉPREUVE.
					permanente.	roulante.	
Saint-Joseph (sur le Missouri............	Linville....	90,0	64	1 : 1406	4100	3330	Une locomotive suivie de wagons chargés couvrant la travée.
		24,0	16	1 : 1500	2200	3330	
Burlington (sur le Missisipi).............	Linville....	75,0	63	1 : 1190	2866	2400	2 machines avec 4 wagons pesant 180 tonnes en totalité.
Louisville (sur l'Ohio).	Fink.......	74,9	44	1 : 1700	3610	2660	4 machines pesant ensemble 200 tonnes.
	Triangulaire	122,0	28	1 : 4357	6040	1640	4 machines pesant ensemble 200 tonnes.
	Id.....	112,8	25	1 : 4512	5500	1770	4 machines pesant ensemble 200 tonnes.
Saint-Charles (sur le Missouri)...........	Fink.......	92,7	90	1 : 1030	3660	3600	7 machines pesant ensemble 334 tonnes.
	Triangulaire	96,5	78	1 : 1237	3470	3460	7 machines pesant ensemble 334 tonnes.
Steubenville (s. l'Ohio).	Linville....	97,0	Insensible.	—	5600	3000	2 machines suivies de wagons chargés.
Cincinnati (du Cincinnati-Southern R.R., sur l'Ohio).........	Linville....	158,3	52	1 : 3044	8090	2740	7 machines et 4 wagons pesant ensemble 434 tonnes.
		91,5	40	1 : 2288	3700	3390	6 machines pesant ensemble 306 tonnes.
		58,0	20	1 : 2900	2300	3300	4 machines pesant ensemble 187 tonnes.

Épreuves du viaduc du Kentucky River. — Nous avons laissé de côté dans le tableau qui précède, le viaduc du Kentucky River sur le Cincinnati-Southern dont les épreuves nous paraissent mériter une description plus détaillée.

Dans les épreuves auxquelles ce viaduc a été soumis, on a mesuré :

1° Le relèvement et l'abaissement aux points A, B, C, P_1, D, P_2, E, F et G (fig. 1, pl. XIX).

2° Le déplacement horizontal du sommet des piles et des extrémités du tablier ;

3° Les variations du jeu laissé au droit des articulations dans la semelle inférieure. (Joint XVI.)

Les épreuves ont été faites :

1° Avec quatre machines pesant chacune 48 et 54 tonnes, sucessivement précédées ou suivies de 2, puis de 5 wagons pesant chacun 18 tonnes ;

2° Avec deux machines accouplées suivies de 7 wagons du même poids ;

3° Avec une seule machine remorquant 24 wagons de ce poids ;

4° Avec deux machines suivies chacune de leur tender.

Les trois premières épreuves ont consisté à charger successivement les deux travées extrêmes jusqu'à l'articulation, puis la travée centrale, de quatre machines suivies et précédées de deux wagons ; une quatrième épreuve, à charger seulement en même temps les deux travées extrêmes avec deux machines suivies de sept wagons ; la cinquième et la sixième, à charger une travée extrême tout entière ; enfin la septième, à faire circuler un train, marchant à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, sur lequel on a serré brusquement les freins et renversé la vapeur.

Le maximum de flèche en B s'est produit dans l'épreuve n° 1 ; il a été de $0^m,066$.

En C, le maximum a eu lieu pour les deux travées extrêmes chargées à la fois et en totalité ; il a été de $0^m,057$.

En D on a trouvé une flèche maxima de $0^m,093$, pour la travée centrale seule chargée. Le relèvement maximum en ce point a été de $0^m,072$; il s'est produit dans l'épreuve n° 4, quand on a chargé les deux travées extrêmes.

Le déplacement horizontal maximum du sommet des piles a eu lieu avec la travée centrale seule chargée, un peu avant que le milieu du train n'eût atteint le milieu de la travée ; il a été de $0^m,028$;

ce maximum s'est maintenu trois quarts de minute après que le train a eu pris sa position au milieu de la travée, puis le déplacement s'est réduit peu à peu à 0m,018. Les deux piles se sont inclinées alors en sens inverses de la même quantité.

Le déplacement horizontal maximum des extrémités a été de 0m,017, et a coïncidé avec le chargement total des travées extrêmes.

Dans l'épreuve avec vitesse, la dernière de toutes, le déplacement a été moindre; les deux piles se sont inclinées dans le sens de la marche du train de 0m,016.

La compression maxima des piles, mesurée au passage des trains, a été de 0m,030. L'ouverture du joint au droit de l'articulation n'a pas dépassé 0m,025 dans les diverses épreuves.

L'ensemble de ces épreuves a été considéré comme très satisfaisant par les ingénieurs chargés de la réception de l'ouvrage.

Résumé.

Après avoir examiné en détail les divers systèmes appliqués en Amérique à la construction des ponts, il nous reste à comparer ces systèmes entre eux et aux systèmes de construction en usage en Europe.

Moyennes portées. — Nous avons constaté que la simplicité de construction de la ferme du système Howe la faisait employer presque à l'exclusion des autres systèmes pour tous les ponts en bois des lignes du Nord et de l'Ouest; dans les États du Sud, on a surtout recours à la ferme triangulaire, qui n'est pas moins économique. Les ponts en bois construits avec ces deux systèmes de fermes ne dépassent guère 45 mètres de portée.

Entre les ponts en bois et les ponts en métal, viennent se placer les ponts mixtes dont la construction tend à se généraliser, et dont l'emploi des deux matières est habituellement combiné de manière à permettre le remplacement en métal des pièces de bois : les fermes des systèmes triangulaire, Post et Pratt, se prêtent plus particulièrement à cette combinaison, avec laquelle on atteint des portées un peu plus grandes qu'avec les fermes en bois.

On n'a guère recours soit au bois seul, soit au bois allié au fer, pour la construction des ponts, que sur les lignes de chemins de fer nouvelles, destinées à favoriser la colonisation de pays encore inhabités ; sur les lignes dont la prospérité est mieux assurée, le bois

n'est employé que pour les ouvrages tout à fait secondaires, faciles à rétablir en cas de destruction ; tous les ouvrages un peu importants sont exécutés en fer. Le treillis en fer à petites mailles et la ferme du système Bollman ne se rencontrent plus qu'exceptionnellement; le treillis rivé à grandes mailles paraît plutôt gagner que perdre du terrain pour les ponts de faible portée, où le danger résultant de l'action brusque des surcharges fait rechercher davantage la rigidité, et certains ingénieurs l'emploient exclusivement pour les portées de moins de 30 mètres.

L'emploi de la ferme du système Post, dont les principales applications se rencontrent sur le Missouri et sur le réseau de l'Erie R.R., ne paraît pas s'étendre : les fermes des systèmes Fink, triangulaire et Pratt et de leurs dérivés sont au contraire d'une application de plus en plus générale.

La ferme Fink, abandonnée aujourd'hui pour les ponts à tablier inférieur, est devenue par excellence la ferme des viaducs métalliques de petite portée : on l'emploie en outre avantageusement à franchir de grandes ouvertures en dehors des chenaux navigables des fleuves, là où la hauteur ne manque pas.

La ferme triangulaire avec tiges de suspension ou bielles verticales, intercalées au milieu des triangles, est devenue d'un usage courant sur les chemins de fer du réseau pennsylvanien pour les moyennes portées, où elle a fini par supplanter la ferme du système Pratt, modifiée par Pettit, moins simple, moins rigide et moins économique qu'elle.

Grandes portées. — Pour les grandes portées, l'intersection des diagonales avec les arbalétriers devient nécessaire pour réduire la longueur des panneaux et les dimensions des pièces de l'âme : cette intersection est pratiquée dans les trois systèmes Post, Linville et isométrique. Ces trois systèmes présentent à des degrés peu différents l'avantage de l'économie de la matière; mais le second l'emporte de beaucoup sur les deux autres pour la commodité de l'exécution, et en fait, c'est le plus généralement appliqué.

On peut dire que, grâce à sa simplicité de construction et de montage, la ferme du système Linville a joué dans l'établissement des chemins de fer, pour l'érection des ponts métalliques à grande portée, un rôle analogue à celui de la ferme Howe pour celle des ponts en bois de portée moyenne.

Les difficultés que présente le réglage des contre-tirants dans les

systèmes Post et Linville tendent cependant à rallier aujourd'hui au treillis, soit rivé, soit articulé à grandes mailles (système isométrique), un certain nombre de constructeurs, ainsi que nous l'avons vu par divers exemples.

Le système triangulaire avec divisions verticales a reçu également quelques applications pour les grandes portées; mais théoriquement plus économique que le système Linville, il lui est notablement inférieur au point de vue de la simplicité des assemblages et des types entrant dans la composition des pièces de chaque panneau.

Très grandes portées. — Aussi pour les ponts de 150 mètres et plus d'ouverture construits ou en construction, à Cincinnati, sur l'Ohio et à Poughkeepsie sur l'Hudson (celui-ci doit avoir des travées de 160 mètres), a-t-on donné la préférence, malgré l'excédant de poids qu'il peut entraîner, au système de ferme Linville.

D'après M. Thomas Clarke, que nous avons déjà eu occasion de citer, le système Linville devrait toutefois cesser d'être considéré comme suffisamment économique pour des portées supérieures à 180 mètres. Il faut alors, pour assurer la stabilité transversale de la travée, ou élargir notablement le tablier, ou diminuer beaucoup le rapport de la hauteur des fermes à l'ouverture; il en résulte un alourdissement considérable de la travée dont les difficultés de montage sont également accrues dans une forte proportion[1].

Pour des portées dépassant 200 mètres, le même ingénieur admet la nécessité, pour éviter le surcroît de poids mort auquel conduit la ferme à semelles parallèles, de reporter les charges vers les points d'appui par un système de transmission plus direct et plus simple.

L'arc, soit comprimé, soit tendu, ou bien une combinaison de haubans et de poutres droites (*cantilever system*) lui paraissent résoudre également le problème. M. Clarke donne toutefois la préférence à l'arc constitué par deux segments lenticulaires, portés par deux articulations et reliés par une troisième articulation, comme combinant l'avantage de la plus grande économie de matière avec celui de la plus grande stabilité.

---

1. Mémoire lu le 21 mai 1878 à la Société des ingénieurs civils de Londres.

La Compagnie de construction de Phénixville a présenté un projet de travées de ce système pour franchir les ouvertures de 223^{m},90 et 138^{m},50 que doit offrir un nouveau pont projeté sur la rivière de l'Est, entre New-York et Long-Island. Une autre Compagnie, la Delaware Bridge C^{y}, a proposé pour les mêmes ouvertures un système de pont porté par trois étages de haubans[1].

Les fig. 17 et 18, pl. VIII, font comprendre la disposition générale des fermes dans les deux projets relatifs à la travée de 223^{m},90.

Éléments des fermes. — En entrant dans le détail de l'exécution des fermes, nous avons vu que cette exécution variait avec les différentes compagnies de construction, et qu'au fur et à mesure des progrès réalisés dans le travail du fer, on tendait à se rapprocher des formes et types en usage en Europe pour les pièces comprimées, en conservant seulement l'usage exclusif des barres à œil pour les pièces tendues, et celui des boulons à articulation pour les assemblages à faire sur place. Nous avons toutefois constaté l'emploi devenu plus fréquent de la rivure dans le montage, nonobstant le maintien des articulations comme système général d'assemblage.

Comparaison avec les procédés de construction européens. — Si l'on compare maintenant les systèmes de construction en usage en Amérique à ceux qui ont cours en Europe, on voit qu'ils reposent en général sur des principes différents.

En premier lieu, les ingénieurs américains rejettent complétement la continuité des travées, contrairement à ce qui se fait en Europe.

Ce rejet nous paraît amplement justifié par l'impossibilité de réaliser dans la pratique les hypothèses sur lesquelles s'appuie la théorie des poutres continues. Indépendamment des tassements inégaux et des variations du module d'élasticité dans les pièces qui constituent la charpente métallique, les variations de température, en affectant inégalement les divers parties de cette charpente, peuvent amener des changements considérables dans les réactions des appuis et dans le travail des pièces.

Les abaissements et relèvements constatés au moment de la rotation aux extrémités des ponts tournants, qui, pendant la fer-

1. Une note, insérée à la fin de ce volume, donne quelques détails sur ces deux projets présentés à une commission composée des généraux Gillmore et Barnard, du corps des ingénieurs militaires, et de M. O. Chanute, ingénieur en chef de l'Erie Railway.

meture, se comportent comme des poutres continues à trois appuis, montrent que l'influence de ces variations est loin d'être négligeable; l'expérience ne fait que confirmer d'ailleurs à cet égard les résultats du calcul[1].

Si l'on ajoute que la continuité des travées entraîne la variation du sens des efforts qui peuvent se développer en certains points des poutres, on doit admettre que les ingénieurs américains sont suffisamment fondés à préférer les ponts à travées discontinues, qui ne donnent prise à aucune objection semblable.

Les motifs qui les ont amenés à simplifier le nombre et l'agencement de toutes les pièces, et à les disposer de telle sorte qu'elles réalisent aussi complètement que possible les données de la théorie, ne sont pas moins sérieux. Les expériences faites il y a quelques années au moyen de l'appareil aussi simple qu'ingénieux imaginé par M. Dupuy, ingénieur en chef de la construction de la compagnie d'Orléans, ont montré que pour les treillis, tels qu'on les construit en Europe, la répartition des efforts, soit entre les différentes barres du treillis, soit entre ces barres et les plate-bandes, peut s'écarter très sensiblement de celle qu'indiquerait la théorie; elles ont en outre fait ressortir les inconvénients, au point de vue de la stabilité des poutres, du mode ordinaire d'assemblage des plates-bandes et du treillis[2] qui a pour conséquence d'augmenter la fatigue des premières et de produire le déversement du second[3].

Il n'est pas douteux qu'il n'y ait un très grand avantage à concentrer dans la direction des axes des pièces les efforts qu'elles ont à supporter, de manière à éviter les effets de flexion et à répartir uniformément tous les efforts sur l'étendue de chaque section en conservant intégralement cette étendue sur toute la longueur de la

---

1. Dans son rapport sur l'Exposition de Philadelphie, M. Steiner établit par le calcul, que pour une poutre droite posée sur trois appuis, une différence de température de 1° centigr. entre les deux semelles peut faire varier de 2,5 p. 100 les moments fléchissants sur les appuis. Pour quatre et cinq appuis, la variation ne descend pas au-dessous de 2 p. 100.

Or, on a constaté que la différence de température entre les deux semelles allait souvent jusqu'à 10 degrés : quelquefois même elle atteint 19 degrés. Cette dernière différence a été relevée sur le pont Victoria, à Montréal (Canada).

2. *Annales des ponts et chaussées* de 1877.

3. M. Steiner a proposé d'appliquer à la mesure des mêmes efforts un autre appareil fondé sur l'observation des vibrations sonores.

pièce, sauf en un petit nombre de points où l'on a recours à des dispositions particulières pour suppléer au défaut de résistance qui pourrait résulter de la forme des assemblages.

Les assemblages des pièces au moyen de rivures ont le multiple inconvénient d'affaiblir les pièces aux points où elles ont le plus besoin de résistance, d'altérer en outre cette résistance dans la portion de la section conservée, de faire travailler inégalement les rivets, et enfin de se prêter difficilement à la transmission des efforts dans la direction des axes des pièces; ils sont à tous ces points de vue, notablement inférieurs aux assemblages à articulation, qui ont de plus l'avantage, malgré la variation des angles que les pièces forment entre elles, de distribuer toujours uniformément les efforts transmis.

Cette supériorité de l'assemblage à articulation, par suite de la multiplicité des pièces articulées parallèlement et de leur indépendance relative, est toutefois moindre en pratique qu'en théorie.

En premier lieu, elle suppose une précision extrême dans l'exécution de toutes les pièces assemblées sur les mêmes articulations, qui doivent avoir exactement les mêmes longueurs et ne présenter aucun jeu. Ainsi que l'a remarqué un ingénieur allemand, M. Gleim, une différence de longueur de 1/4 de millimètre, limite de tolérance habituellement admise pour les inégalités de longueur entre les barres, se produisant sur des barres parallèles de 4 mètres de longueur, suffit pour entraîner dans l'une d'elles un effort plus grand de 2 kilogrammes par millimètre carré que dans l'autre.

Mais une parfaite égalité de longueur serait-elle obtenue dans l'exécution, qu'une différence de température de 8 à 10° entre les deux barres produirait la même différence de tension entre elles. Une flexion transversale des barres, occasionnée par l'action du vent ou par les trépidations au passage des trains, aurait des conséquences analogues.

Cette flexion est d'autant plus à craindre dans les ponts américains que, comme nous avons eu occasion de le remarquer, le contreventement transversal est généralement faible.

Le système d'assemblage avec rivets, moins favorable à une uniforme distribution des efforts, a tout au moins cet avantage, que sa rigidité et la solidarité obtenue entre toutes les pièces les mettent mieux en état de résister aux actions transversales. Avec les procédés que l'on emploie aujourd'hui pour la rivure dans les usines,

il est d'ailleurs beaucoup moins à craindre d'avoir des rivets faussés ou ne remplissant pas exactement leurs trous; dès lors, tous les rivets se viennent mutuellement en aide, bien que travaillant inégalement; et une cause de déformation quelconque, dès qu'elle vient à agir dans une ferme à treillis rivé, met en jeu l'élasticité dans toutes les pièces, qui reviennent ensuite à leur première situation, dès qu'elle cesse d'agir, tandis que dans le système à articulation, le moindre jeu, la moindre inégalité de longueur entre les pièces, suffisent pour les empêcher de revenir complétement à cette situation; le treillis rivé, en un mot, est essentiellement rigide, tandis que le système articulé ne l'est pas nécessairement.

On peut dire, en définitive, qu'avec un pont en treillis à rivures d'une exécution médiocre, un accident est moins à craindre qu'avec un pont à articulations dont l'exécution serait également défectueuse, et qu'à égalité d'efforts maxima, une ferme à articulations, dont toutes les pièces seraient exécutées et assemblées avec une grande précision, et où l'on aurait en outre pris des dispositions convenables pour maintenir l'uniforme répartition des efforts que ce système a pour but de réaliser, comporte un emploi beaucoup mieux entendu de la matière, et présente plus de chances de durée, qu'une ferme à treillis rivé d'une exécution également parfaite.

On ne saurait d'autre part attacher une valeur sérieuse à l'objection, qui a été faite parfois aux assemblages par articulation, d'exposer les ponts à une ruine complète dans le cas où un de ces assemblages viendrait à céder, du moment où les pièces articulées et les articulations elles-mêmes sont soumises à des conditions d'exécution et à des épreuves donnant pour leur résistance des garanties beaucoup plus grandes que celles auxquelles on peut assujettir les pièces rivées, puisque ces épreuves peuvent s'appliquer à la plupart des pièces et des assemblages pris individuellement, et non à quelques échantillons pris au hasard seulement.

Ajoutons que les inconvénients qui peuvent résulter du jeu des articulations diminuent à mesure que s'accroissent les portées, par suite de la moindre influence de l'action des charges roulantes, tandis que les avantages qu'elles offrent sur les assemblages à rivures au point de vue de l'économie de la matière vont en croissant.

Ces avantages, avec les garanties qui résultent d'une exécution plus soignée des pièces, d'un ajustage plus précis et des épreuves

faites à l'usine avant le transport à pied d'œuvre, ont une valeur toute particulière pour les grandes portées.

Si maintenant on compare les deux systèmes au point de vue du montage, en laissant de côté, comme le font les Américains, l'hypothèse des fermes continues et par suite le procédé de lançage, auquel ils reprochent avec raison de fatiguer les fermes aux endroits les plus faibles, il est incontestable que le système des fermes articulées, dont toutes les pièces peuvent, après avoir été vérifiées et montées à blanc préalablement à l'usine, être assemblées sur place, au moyen de simples boulons, offre pour le montage des facilités toutes particulières, en même temps qu'il se prête à une rapidité de préparation très grande par suite de l'emploi de pieces de longueur uniforme, variant le plus souvent en nombre sans varier de section. Dans les pays souvent déserts où sont construits les chemins de fer en Amérique, le montage d'un pont peut se faire en quelques jours, avec de simples manœuvres, dirigés par un contre-maître, sans exiger d'installation pour le travail du fer, ni pour le logement des ouvriers. Si dans l'exécution récente de certains ponts, comme ceux de la ligne du Cincinnati-Southern R. R., on s'est résolu à effectuer sur place des travaux de rivure, ces travaux, pour lesquels il était relativement plus facile de s'outiller que d'ordinaire, n'ont pas laissé que d'être fort restreints.

La grande rapidité du montage, d'autant plus précieuse que cette opération est toujours hasardeuse, à cause de la soudaineté et de la violence des crues et des ouragans, est un des plus grands avantages du système américain, et en rend l'emploi spécialement applicable à tous les ponts à construire au loin, en dehors de la surveillance directe des constructeurs.

Plusieurs ingénieurs, notamment en Allemagne, ont signalé les services qu'en raison de la prompte préparation des pièces à l'usine et de leur facile montage sur place, le système de construction américain était susceptible de rendre pour les opérations militaires dans le cas où l'on a à intercepter ou à rétablir la circulation sur les voies ferrées. L'enlèvement de quelques boulons suffit pour entraîner la chute d'une travée, et peut être substitué à la destruction au moyen de matières explosibles, toujours dangereuse et peu sûre; le montage de nouvelles travées, dont toutes les pièces, de faible longueur, peuvent être amenées toutes préparées à pied d'œuvre, exécuté en se servant des piles anciennes ou de chevalets provisoires égale-

ment préparés à l'avance, n'exige qu'un ou deux jours, et permet de rétablir dans des conditions de sécurité parfaite la marche des trains.

Il est certain que les ponts en treillis ne sauraient se prêter ni à une démolition, ni à une reconstruction aussi promptes.

Sous le rapport de la dépense, la comparaison est assez difficile à faire entre les ponts américains et européens; les surcharges ainsi que les limites imposées dans les deux cas au travail des métaux n'étant pas les mêmes, et celles-ci variant en outre dans les ponts américains avec la fonction spéciale que les pièces remplissent dans la construction. *A priori* on conçoit que pour les faibles portées où les pièces rivées n'exigent qu'un petit nombre de joints, tandis que les boulons d'articulation et les parties renflées des barres se répètent à chaque panneau, le système américain ne puisse être plus économique que le système européen. Nous avons déjà remarqué qu'à mesure que les portées s'accroissent, il doit en être autrement.

En fait, les ponts américains réalisent sur les ponts européens de même portée, ainsi qu'on peut le voir par le tableau qui termine ce chapitre, une économie très sensible de métal pour les grandes ouvertures.

Les causes principales de cette économie sont : 1° le travail plus uniforme et plus rapproché partout du travail limite dans toutes les pièces; 2° la légèreté du tablier, réduit aux pièces indispensables pour supporter la voie; 3° celle du contreventement; 4° la suppression des pièces surabondantes destinées dans les ponts européens à maintenir la régularité du treillis; 5° enfin la proportion plus grande entre la hauteur et la portée[1].

Le tableau ci-après montre que, tandis que dans la plupart des ponts européens on s'écarte peu de la proportion de 1/10 pour les poutres de 50 à 100 mètres, on se tient généralement au-dessus de cette proportion en Amérique[2].

Extension prise par la construction des ponts du système américain. — L'extension rapide qu'a prise aux États-Unis la construction des ponts métalliques dans le système à articulations a été favorisée :

---

1. Voy. la note à la fin du volume.
2. Le fait de la plus grande hauteur, eu égard à la portée, avait été déjà signalé par M. Malézieux.

1° Par les perfectionnements apportés à l'exécution des pièces, qui ont permis d'appliquer ce système de construction avec un succès et une sécurité toujours croissants.

2° Par l'emploi de plus en plus économique qui y a été fait du métal, par suite d'une étude plus attentive de toutes les dispositions d'ensemble et de détail des fermes.

3° Par la baisse progressive du prix du fer ouvré appliqué à ce genre de construction.

Nous n'avons rien à ajouter aux détails dans lesquels nous sommes entrés, pour donner une idée du soin et de la précision avec lesquels on procède aujourd'hui dans la plupart des usines à l'exécution de toutes les pièces.

Les économies réalisées progressivement sur le poids du métal ressortent du tableau que nous donnons à la fin de ce chapitre. Si l'on compare par exemple les deux ponts n° 30 et n° 31 construits par le même constructeur, M. Linville, en 1864 et en 1870, on voit que le dernier, de 103^{m},40 d'ouverture, ne pèse que 3370 kilogrammes par mètre courant, tandis que l'autre, de 97^{m},30 d'ouverture seulement, en pèse 5015. La différence des matières employées pour certaines pièces a contribué en partie à cette réduction, mais les meilleures proportions de la ferme, plus haute et à plus grands panneaux, y ont aussi une grande part.

Quant à la baisse continue du prix des fers dans la construction des ponts métalliques, malgré la plus grande perfection de l'exécution des pièces, elle ressort du tableau suivant, que nous empruntons, ainsi que la comparaison précédente, au mémoire déjà cité de M. Thomas Clarke.

ANNÉES.	PRIX DE LA TONNE DE		
	FONTE BRUTE américaine.	FER AMÉRICAIN en barres.	FER OUVRÉ p. ponts américains.
1870	166 fr.	395 fr.	1007 fr.
1871	176 »	392 »	958 »
1872	245 »	487 »	934 »
1873	214 »	433 »	859 »
1874	151 »	340 »	763 »
1875	128 »	305 »	680 »
1876	111 »	260 »	614 »
1877	100 »	238 »	520 »

Dans le cours de cette période, les prix des fers ouvrés pour fermes en treillis ont été généralement inférieurs de 63 à 75 francs aux prix des fers ouvrés pour fermes à articulations.

Le fait de la supériorité des ponts américains au point de vue de l'économie et de la facilité d'exécution est aujourd'hui reconnu dans les deux Amériques. Non seulement plusieurs compagnies de chemins de fer des États de la Nouvelle-Angleterre, où le treillis rivé était d'abord en usage, y ont renoncé pour recourir au système à articulations, mais encore au Canada, où les chemins de fer sont dirigés par des ingénieurs anglais, ce sont des maisons américaines qui construisent la plupart des ponts métalliques.

Pour le pont de Miramichi en particulier, sur l'Intercolonial Railway, comprenant plusieurs travées de 61 mètres de portée, divisées chacune en dix-sept panneaux, pour lesquelles le cahier des charges fixait à 7 kilogrammes et à 5^{k},60 par millimètre carré les efforts maxima de tension et de compression, il a été présenté à la fois des soumissions pour des fermes en treillis à rivures et à articulations, dont les conditions d'établissement sont indiquées par le tableau suivant :

	HAUTEUR.	LONGUEUR DES PANNEAUX.	POIDS EN TONNES.
	m. m.	m. m.	
Fermes à rivures (Projets anglais)........	4,9 à 5,5	1,8 à 2,4	248 à 205
	6,10	2,7 à 3,2	143 à 139
Fermes articulées (Projets américains).....	6,10 à 6,7	2,7 à 3,4	130 à 124
	7,6 à 8,5	3,7 à 4,3	113 à 104

Pour d'autre ponts de la même ligne, assujettis à des conditions analogues, et devant porter une surcharge de 4 tonnes par mètre courant, l'usine de Phénixville, qui avait été chargée de l'exécution du pont de Miramichi, l'a également emporté sur tous ses concurrents d'Angleterre et de Belgique.

Au Pérou, où l'on a fait d'abord l'essai, pour le chemin de fer de la Cordillère, de ponts construits en Angleterre et en France, la préférence a été finalement donnée aux ponts américains, après le succès complet du viaduc de Varrugas, précédemment décrit, dont le mon-

tage, pour une longueur de tablier de 162^{m},50 et trois piles, dont une de 76^{m},80 de hauteur, a demandé moins de temps (3 mois et demi) que l'érection d'un pont de 50 mètres d'ouverture en treillis, construit par une maison française. Un autre pont de 51 mètres, de construction anglaise, celui de Pacasmayo, qui s'était rompu à l'épreuve sous une charge de 50 tonnes, qui pesait 127 tonnes et avait demandé huit semaines de montage, a été remplacé par un pont du système triangulaire pesant seulement 61 tonnes et monté en huit jours.

La légèreté des ponts américains a certainement des inconvénients; elle les expose davantage aux vibrations, et accroît l'amplitude des déformations au passage des surcharges. Ces deux causes, dont l'action est surtout sensible sur les ponts de faible portée, doivent avoir pour effet d'altérer plus promptement l'élasticité du métal et de diminuer les chances de durée des ouvrages. Il resterait à savoir si cette infériorité n'est pas amplement compensée par les meilleures conditions dans lesquelles ils sont placés pour résister à l'oxydation, qui est pour les constructions métalliques une cause de destruction beaucoup plus active, par suite de l'emploi de pièces offrant moins de prise aux agents atmosphériques et plus de facilités pour la visite et l'entretien.

Quelque jugement qu'on doive porter sur la valeur du système de construction américain, au point de vue de la stabilité, de la sécurité et de la durée, on doit reconnaître que l'emploi de ce système a eu une influence considérable sur l'extension des chemins de fer dans toute l'Amérique, où il a permis de surmonter partout, d'une manière à la fois rapide et économique, les obstacles que présentait la traversée des grands fleuves; ce qu'il n'eût pas été possible de faire avec les systèmes de ponts en usage en Europe, eu égard aux difficultés inhérentes à la situation des ouvrages et aux faibles ressources disponibles.

PONTS AMÉRICAI[illegible]

N° D'ORDRE.	DÉSIGNATION de L'OUVRAGE.	Époque de construction.	NOMBRE et position des voies.	Portée des travées.	SYSTÈME de construction des fermes.	DIMENSIONS DES FERMES				Écartement des fermes.	[illegible] mè[illegible]
						Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur de panneau.		
1	*Pont d'Omaha*, sur le Missouri, construit par l'American Bridge C^y.	1871	1. Inférieure.	m 76,25	Système Post.	m 9,52	1 : 8	22	m 3,[illegible]	m 5,13	2[illegible] 87[illegible]
2	*Pont de Leavenworth*, sur le Missouri (mêmes constructeurs).	1872	1. Inférieure avec voie charretière.	103,70	Syst^e. Post.	9,86	1 : 10,4	26	3,[illegible]	5,49	2[illegible] 15[illegible]
3	*Pont de Boonville*, sur le Missouri (mêmes constructeurs).	1874	1. Inférieure.	78,70	Syst^e Post.	9,86	1 : 9,2	22	3,[illegible]	5,49	26 85[illegible]
4	*Pont de Centre-Street*, sur le Pennsylvania R.R., construit par la Delaware Bridge C^y.	1877	1. Supérieure.	16,00	Treillis rivé à grandes mailles.	1,83	1 : 8,9	10 intervalles.	1,[illegible]	4,58	
5	*Pont de Passaïc River*, sur le Delaware et Lackawanna R.R. (mêmes constructeurs).	1877	2. Supérieures.	40,87	Treillis rivé à grandes mailles. (3 fermes.)	2,21	1 : 19	Mailles d[e] 2^m,21		3,35	
6	*Pont de Canestota*, sur le New-York Centr. R. R., au passage du canal Erié, construit par M. Hilton.	»	2. Inférieures.	38,12	Treillis rivé à petites mailles. (3 fermes.)	5,90	1 : 6,30	Espacement des entretoise[s] de 2^m,82.		4,45	
7	*Pont de Saint-Charles*, sur le Missouri, construit par M. Shaler Smith.	1868 à 1871	1. Supérieure.	92,72	Système Fink.	10,98	1 : 8,[illegible]0	16 div.	5,[illegible]	5,40	
			1. Inférieure.	96,07	Système isométrique.	9,15	1 : 10,5	21 div.	4,[illegible]	5,40	

PONTS AM[ÉR]ICAINS.

[...]ort [...]a [...]eur [...]e.	Nombre de panneaux.	Longueur des panneaux.	Écartement des fermes.	Poids de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	Travail du métal par millim. carré. Pièces tendues.	Pièces comprimées.	OBSERVATIONS
8	22	3.5	m 5.13	2577k dont 870k de fonte.	2700k	3600k	7 kilogr.	6k,3 dans les semelles supérieures : de 1 kil. à 4k dans les arbalétriers suivant leur longueur.	Semelles supér. en fonte. Longrines sous les rails en bois. Le poids du métal employé se décompose comme il suit : A. Semelles...... 1293k; B. Ame.......... 934; C. Boulons....... 41; D. Contreventemt. 57; E. Entretoises.... 252 } 2577k. Prix de la superstructure par m. courant : 2700 fr.
0,4	26	3.[illegible]	5,49	2850k dont 1562 de fonte.	4800	3100	7 kilogr.	Comme ci-dessus.	Même système de construction pour les semelles et les longrines. Prix de la superstructure par mètre courant : 3840 fr.
9,2	22	3.[illegible]	5,49	2632k dont 855 de fonte.	3300	3750	7 kilogr.	Comme ci-dessus.	Même système de construction pour les semelles et pour les longrines. Prix de la superstructure par mètre courant : 2530 fr.
8,9	10 intervalles.	1.[illegible]	4,58	650k	1250	4500	7 kilogr.	Compression calculée au moyen de la formule de Gordon, avec un coefficient de sécurité de 1/4.	Semelles supérieures constituées par des caissons sur lesquels reposent directement les traverses de la voie.
19	Mailles d[e] 2m,21		3,35	1621	2820	6000	7 kilogr.		
[illegible],30	Espacement des entretoises de 2m,82.		4,45	2369	3300	4500	7 kilogr.	5k,60	Longrines en fer. A................ 757k; B................ 755; C' (Rivets)........ 198; D................ 129; E 530
3,[illegible]0	16 div.	5.[illegible]	5,40	3179	3761	3000	8k,40 à 7k dans les semelles et tirants.	8k,40 dans le fer et la fonte des semelles.	Semelles supérieures en fonte.
10,5	21 div.	4.[illegible]	5,40	3180	3760	3000	11k,50 dans le contreventement.	4k,68 à 4k,30 dans les arbalétriers et poinçons.	Traverses de la voie reposant directement sur les semelles. Prix de la superstructure par m. courant, 3225 fr. et 4190 fr. (Voir le tableau p. 175.)

N°s D'ORDRE.	DÉSIGNATION de L'OUVRAGE.	Époque de construction.	NOMBRE et position des voies.	Portée des travées.	SYSTÈME de construction des fermes.	DIMENSIONS DES FERMES. Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur de panneau.	Écartement des fermes.	met
8	*Pont de Louisville*, sur l'Ohio, construit par la Louisville Bridge Cy.	1868 à 1870	1 supérieure. 1 inférieure. 1 inférieure.	m. 74,88 112,85 122,00	Syst. Fink. Triang. sans croisement. Id.	m. 9,00 14,00 14,00	1 : 8,3 1 : 8,0 1 : 8,7	16 div. 6 » 7 »	m 4.68 18.50 17.26	m. 4.80 7.80 7.80	
9	*Pont n° 28*, sur le Northern Central R. R. de Pennsylvanie, construit par M. J. Wilson.	»	2. Supérieures.	37,82	Triang. avec croisement et demi-bielles intermédiaires. (3 fermes.)	4,59	1 : 8,2	8	4.55	2.76	
10	*Pont sur le Pennsylvania R. R.*, au passage de la Delaware, à Trenton, construit par MM. Pettit et Wilson.	1874	2 inférieures avec voie charretière.	63,44 62,22 58,56 50,63	Syst. Pettit à suspension intermédiaire.	7,93 7,93 7,93 7,93	1 : 8,0 1 : 7,9 1 : 7,4 1 : 6,6	8 8 8 6	7.93 7,78 7.32 8,44	8,54 et 7.62	
11	*Pont sur la Monongahela*, à Port-Perry, sur la Pennsylvania R. R. (mêmes constructrs).	»	1 supérieure. Id. Id. 1 inférieure.	41,89 43,51 21,16 79,30	Triang. avec croisement et demi-bielles intermédiaires.	5,43 5,43 3,04 7,93	1 : 7,6 1 : 8,1 1 : 7,0 1 : 10	8 8 4 8	5,23 5,44 5.29 9,90	2.76 2.76 2.76 4.88	
12	*Pont de New-Brunswick*, sur le Raritan bay (mêmes constructeurs).	»	2. Supérieures.	28,67 35,24 38,63 41,50	Même système. (3 fermes.)	5,19 5,19 5,19 5,19	1 : 5,5 1 : 7,0 1 : 8,0 1 : 8,0	6 7 8 8	4,78 5,05 4,83 5,20	2.39 2.51 2.41 2.60	
13	*Pont de Rockville*, sur la Susquehanna (Pennsylvania R.R.), biais de 68° (Delaware Bridge Cy et M. Wilson).	1877	2. Supérieures.	48,80	Id.	6,00	1 : 8,1	8	6,10	3,40	1
14	*Pont de Fishing Creek* (Delaware Bridge Cy).	»	1. Supérieure.	43,92	Syst. Pratt.	6,40	1 : 6,8	11	4,00	4,58	1
15	*Pont de Des Moines* (mêmes constructeurs).	1877	1. Inférieure.	32,64	Id.	6,40	1 : 5	7	4,67	4,58	

Écartement des fermes.	Poids de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	TRAVAIL DU MÉTAL PAR MILLIM. CARRÉ.		OBSERVATIONS.
				Pièces tendues.	Pièces comprimées.	
m. [illegible].80 7.80 [illegible].80	2664k 4315 5067	3610k 5500 6040	3900k Id. Id.	8k,8 à 5k,7 suivant l'ordre des pièces.	1/6 à 1/7 de l'effort de rupture	Longr. en fer. Sem. sup. en fonte. Les prix de superstruct. par m. courant ont été respectivement de 2830 fr., 5100 fr. et 6320 fr.
2,76	1106	1666	4500	7 kilogr.	5k,60	A.......... 550k B.......... 392 C.......... 37 D.......... 127 (Tablier en bois.) Ce pont est revenu à 1420 fr. le m. courant de superstructure.
8,54 et 7.62	3200 3300 3100 2600	3500 3500 3450 2980	6000 6000 6000 6000	7 kilogr. Id. Id. Id.	5k,60 dans les semelles supr avec réd. dans les arbalétriers, en tenant compte de la longueur.	A..... 1245k } B..... 873 } C..... 49 } D..... 163 } E..... 870 } Dans les plus grandes travées. Prix du mètre courant de superstructure, 2500 fr.
2.76 2.76 2.76 4.88	1597 1625 893 3200	2166 2193 1493 3744	6000 6000 6000 6000	7 kilogr. Id. Id. Id.	Comme ci-dessus.	Décomposition des poids pour les plus grandes travées : A...... 816k..... 1560k B...... 604.... 812 C...... 53. .... 59 D...... 604...... 225 Tablier en bois.... 544 Prix du m. courant de superstructure : 1210 fr.
2.39 2.51 2.41 2,60	905 1082 1163 1220	1450 1645 1725 1780	4500 4500 4500 4500	7 kilogr. Id. Id. Id.	Comme ci-dessus.	Décomposition des poids pour la plus grande et la plus petite travée : A....... 611k..... 350k B....... 437...... 362 C....... 36...... 60 D ...... 136...... 133
3,40	1667	2267	4500	7 kilogr.	Comme ci-dessus.	A............... 855k B............... 433 C............... 32 D............... 140 E............... 207
4,58	1285	1885	4500	Comme au n° 4.		
4,58	943	1543	4500	Id.		

N° d'ordre.	Désignation de l'ouvrage.	Époque de construction.	Nombre et position des voies.	Portée des travées.	Système de construction des fermes.	Dimensions des fermes			
						Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur [illegible]
16	1er *Pont sur l'Hudson, à Albany* (New-York Central et Hudson River R. R.), construit par la Phénixville Bridge Cy.	1872	2. Inférieures.	m 21,3	Syst. Linville. (3 fermes.)	m 2,44	1 : 8,8	7	m 3,05
17	*Pont de Greenbrier R.*, sur le Chesapeake et Ohio R. R. (mêmes constructeurs)	1872	1. Supérieure.	36,60	Système Linville.	4,88	1 : 7,4	9	4,14
18	*Pont de Norwich*, sur le Norwich et Worcester R. R. (mêmes constructeurs).	1875	1. Inférieure.	44,20	Id.	8,07	1 : 5,5	11	4,00
19	*Pont de Scotville*, sur l'Ohio et Mississipi R. R. (mêmes constructeurs).	1872	1. Inférieure.	52,40	Id.	8,53	1 : 6,2	12	4,47
20	2e *Pont sur l'Hudson à Albany*, du New-York Central et Hudson River R.R. (mêmes constructeurs).	1872	2. Inférieures.	53,90	Id.	7,32	1 : 7,4	15	3,68
21	*Pont sur le Cumberland River*, du Cincinnati-Southern R. R., construit par l'American Bridge Cy.	1877	1. Supérieure.	59,47	Id.	7,93	1 : 7,5	15	3,96
22	*Pont de Restigouche* (Canada), sur l'Intercolonial Ry du Canada, construit par la Phénixville Bridge Cy.	1877	1. Inférieure.	61,00	Id.	8,53	1 : 7,2	14	4,40
23	*Pont sur le Mississipi*, de Clinton (Iowa) construit par l'American Bridge Cy.	1868-1869	1. Inférieure.	61,00	Id.	7,32	1 : 8,3	15	3,97

Écartement des fermes.	POIDS de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	TRAVAIL DU MÉTAL PAR MILLIM. CARRÉ.		OBSERVATIONS.
				Pièces tendues.	Pièces comprimées.	
m 4,42	2114 k	3334 k	8930 k	7 kilogr.	De 5k,62 à 7k,3 pour des longueurs de 15 à 12 fois le diamètre. De 2k,81 à 5k,62 pour des longrs de 40 à 15 fois le diamo.	Pont construit en colonnes de Phénixville pour les pièces comprimées : des longrines en bois supportent les rails, et les fermes se terminent par des arbalétriers inclinés.
3,05	1063	1663	3720	Id.	Id.	Id.
4,87	1354	1654	4460	Id.	Id.	Id.
4,87	1300	1954	3720	Id.	Id.	Id
4,26	3847	5047	8930	Id.	Id.	Id.
4,27	1872	2682	3800	Id.	Formule de Gordon avec un coefficient de sécurité de 6.	Prix du mètre courant de superstructure : 1690 fr. Longrines en bois.
5,49	1697	2297	4160	Id.	Comme pour les précédents ponts de la Compagnie de Phénixville.	
4,27	1718	2250	4500	Id.	5k,60 dans les semelles supér. 1k,40 à 5k dans les arbalétriers.	Prix par m. courant de superstructure : 1640 fr. Longrines en bois.

Nos D'ORDRE.	DÉSIGNATION de L'OUVRAGE.	Époque de construction.	NOMBRE et position des voies.	Portée des travées.	SYSTÈME de construction des fermes.	DIMENSIONS DES FERMES. Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur de panneau.	Écartement des fermes.	POIDS de méta[l] par mètre cour[ant]
24	*Pont sur le Tennessee* (Cincinnati-Southern R. R.), construit par la Louisville Bridge Cy.	1876	1. Inférieure.	m 63,44	Linville.	10,37	1 : 6,1	12	m 5,24	m 4,90	1840k
25	*Pont de New-River*, sur le Chesapeake Ohio R. R., construit par la Phénixville Bridge Cy.	1872	1. Inférieure.	76,20	Id.	9,14	1 : 8,3	17	[illegible]	4,88	1911
26	*Pont d'Atchison*, sur le Missouri, construit par l'American Bridge Cy.	1875	1 inférieure avec voie charretière.	78,70	Id.	8,54	1 : 9,3	17	[illegible]	5,49	2213
27	*Pont de Burlington*, sur le Mississipi, construit par la Détroit Bridge Cy.	1868	1. Inférieure.	76,25	Id.	7,30	1 : 10,4	20	3,86	4,27	2310
28	*Pont de Saint-Joseph*, sur le Mississipi (mêmes constructeurs).	1873	1 inférieure avec voie charretière.	91,00	Id.	9,10	1 : 10	21	4,33	6,00	2835
29	*Pont sur la Susquehanna*, à Havre-de-Grâce, construit par la Phénixville Bridge Cy.	1877	1. Inférieure.	93,60	Id.	10,67	1 : 9,2	17	5,54	4,88	2310
30	*Pont de Steubenville*, sur l'Ohio, construit par la Keystone Bridge Cy.	1864	1. Supérieure.	97,30	Id.	8,54	1 : 11	26	3,74	4,93	5015
31	*Pont de Parkersburg*, sur l'Ohio (mêmes constructeurs).	1870	1. Supérieure.	103,41	Id.	10,06	1 : 10	22	4,73	5,49	3370
32	*Pont de Cincinnati à Newport*, sur l'Ohio (mêmes constructeurs).	1871	1 inférieure avec voie charretière.	126,57	Id.	12,65	1 : 10	20	6,33	5,80	6620

Écartement des fermes.	POIDS de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	TRAVAIL DU MÉTAL PAR MILLIM. CARRÉ. Pièces tendues.	Pièces comprimées.	OBSERVATIONS.
m 4,90	1840k	2341k	3800k	7 kilogr.	De 8k,4 à 4k,3 en passant des semelles supérieures aux arbalétriers inclinés.	Longrines en fer sous la voie, avec contre-longrines en bois. Prix par m. courant de superstructure : 1380 fr.
4.88	1911	2511	3330	Id.	Comme pour les précédents ponts de la même Compagnie.	Longrines en bois.
5,49	2213	3150	3750	Id.	6k,30 dans les semelles, 1k,20 à 3k,50 dans les arbalétriers.	Longrines en fer. A...... 1011k | D....... 36k B...... 718 | E...... 342 C...... 106 Prix du m. courant de superstructure : 2040 fr.
4,27	2310	2810	4500	Id.	Efforts de rupture affectés d'un coefficient de sûreté de 1 : 6.	Semelles supérieures en fonte.
6,00	2835	4060	3750	Comme ci-dessus.		Id.
4,88	2310	3200	3300	7 kilogr.	6,30	Entièrement en fer.
4,93	5015	5940	4455	Id.	Efforts de rupture affectés d'un coefficient de sécurité de 1 : 6.	Semelles supérieures en fonte.
5,49	3370	3725	4455	Id.	6,61	Id.
5,80	6620	8200	6703	Id.	6,30	Entièrement en fer.

N° D'ORDRE.	DÉSIGNATION de L'OUVRAGE.	Époque de construction.	NOMBRE et position des voies.	Portée des travées.	SYSTÈME de construction des fermes.	DIMENSIONS DES FERMES.			
						Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur de panneau.
33	*Pont du Cincinnati Southern R. R.*, sur l'Ohio, construit par la Keystone Bridge Cy.	1877	1. Inférieure.	157,07	Linville.	15,67	1 : 10	20	7,8[illegible]
34	*Pont sur le Saint-Laurent*, à Montréal (Canada), construit par Stephenson.	1853	Id.	100,60	Tubulaire.	6,71 9,15	1 : 12,5	—	—

Écartement des fermes.	POIDS de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	TRAVAIL DU MÉTAL PAR MILLIM. CARRÉ. Pièces tendues.	Pièces comprimées.	OBSERVATIONS.
6.10	7560k	8050	2711	7 kilogr.	6k,25	Entièrement en fer.
[illegible].88	6930	7150	[illegible]337	7k,86	6,25	Id.

PONTS EU[illegible]ROPÉENS

N° d'ordre.	DÉSIGNATION de L'OUVRAGE.	Époque de construction.	NOMBRE et position des voies.	Portée des travées.	SYSTÈME de construction des fermes.	DIMENSIONS DES FERMES				[illegible] des fermes.
						Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur de [illegible]	
	France.									
1	*Pont sur la Seine*, à Argenteuil.	1863	2. Inférieures.	m 30,00 40,00	Treillis rivé.	m 4,00	1 : 7,5 1 : 10	—	—	m 8,50
2	*Pont sur le Scorff*, à Lorient.	1862	2. Inférieures.	54,00 64,00	Id.	4,00	1 : 16	—	—	8,56
3	*Pont sur la Garonne*, à Bordeaux.	1860	Id.	56,51 74.36	Treillis rivé (à grands croisillons).	6,35	1 : 8,9 1 : 11,7	15 20	3,5[illegible]	8,18
4	*Pont sur la Garonne*, à Langon.	1855	Id.	[illegible]	Poutres pleines rivees.	5,50	1 : 11,6 1 : 14,0	—	—	8,50
	Angleterre.									
5	*Pont de Conway* (R. Stephenson).	184[illegible]	2. Inférieures.	122,00	Tubulaire.	7,78	1 : 15,7	—	—	4,58
6	*Pont Britannia*, sur le detroit de Menay (R. Stephenson).	[illegible]	2 voies.	[illegible]	Id.	9,15	Moy. 1 : 15,[illegible]	—	—	4,58
7	*Pont de Saltash*, construit par J. Brunel.	1859	1. Inférieure.	138,7[illegible]	Fermes de forme lenticulaire.	9,15 18,30	Moy. 1 : 10,5	—	—	5,19
8	*Pont sur la Mersey*, construit par Baker	1869	2. Inférieures.	93,20	Treillis.	8,23	1 : 11,3	—	—	8,54

PONTS EUROPÉENS.

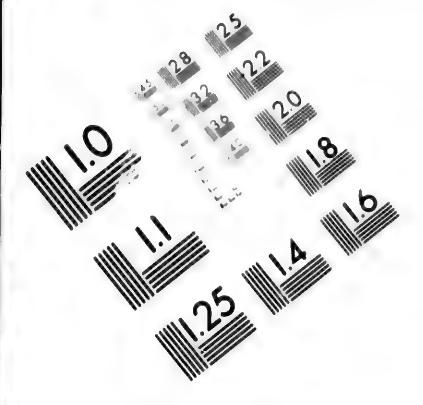
…s des fermes: …ort a …eur a …ee.	Nombre de panneaux.	Longueur de panneaux.	Écartement des fermes.	Poids de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	Travail du métal par millim. carré. Pièces tendues.	Pièces comprimées.	OBSERVATIONS.
			France.						
7,5 10	—	—	8,50	4036^k	6000^k	8000^k	6 kilogr.	6 kilogr.	La dépense totale de construction du pont a été d'environ 1 300 000 francs.
16	—	—	8,56	4990	»	8000	Id.	Id.	La superstructure de ce pont est revenue à 2914 fr. le mètre courant.
8,9 1,7	15 20	3,5[illegible]	8,18	5900	5900	8000	Id.	Id.	Ce pont a coûté 2 974 000 fr.
1,6 4,0	—	—	8,50	3780	»	8000	Id.	Id.	Ce pont, dont la longueur totale est de 207^m,14, a coûté 1 392 000 fr. se répartissant comme suit : Maçonneries........ 294 643 fr. Travées métalliques. 825 905 » Échafaudages et mise en place......... 271 452 »
			Angleterre.						
5,7	—	—	4,58	9200	9610	3338	8,7	8,7	
[illegible]	—	—	4,58	11,200	11,590	3338	9,3	9,30	
[illegible] 0,5	—	—	5,19	6863	9685	3338	6 3	—	Ce pont a coûté 5 750 000 fr.
1,3	—	—	8,54	7630	8315	4989	7,3	—	

N°s d'ordre.	Désignation de l'ouvrage.	Époque de construction.	Nombre et position des voies.	Portée des travées.	Système de construction des fermes.	Dimensions des fermes. Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur des panneaux.	Écartement des fermes.	de … mètre
	Hollande.										
9	*Pont sur la Meuse*, à Crèvecœur.	1870	1. Inférieure.	m 100,00 57,00	Treillis à semelle supre parabolique. Treillis droit.	m 7,01 12,51 5,32	Moy. 1 : 10,2 1 : 10,7	23 —	4,4 —	m 5,08 4,47	4 2
10	*Pont sur le Hollandsche Diep*, à Murdyk.	1871	Id.	100,00	Treillis à semelle supére parabolique.	6,00 12,00	Moy. 1 : 11,5	25	4…	5,00	4
11	*Pont sur le Waal*, à Bommel.	1869	Id.	120,00	Id.	7,00 13,00	Moy. 1 : 12,40	27	4,	5,24	61
12	*Pont sur le Lek*, à Kuilenburg.	1868	Id.	150,00 80,00 57,00	Id.	8,00 20,20 8,04 8,32 8,04	Moy. 1 : 10,7 Moy. 1 : 9,7 Moy. 1 : 7,1	38 24 18	4, 3,2 3,2	9,60 9,60 9,60	13 737 (dont en a 76 48
	Allemagne.										
13	*Pont sur la Pregel*, à Kœnigsberg.	1867	2. Inférieures avec trottoirs latéraux.	61,15	Treillis.	6,89	1 : 8,8	—	—	8,27	543
14	*Pont sur la rivière de Zeglin*, à Stettin.	1870	2. Inférieures.	92,16	Grand treillis avec semelle supérieure parabolique.	6,00 à 14,00	Moy. de 1 : 9,2	17	6,0	9,00	493
15	*Pont sur la rivière de Memel*, à Tilsitt.	1876	2. Inférieures.	96,68	Id.	5 19 11,92	1 : 11	18	5,3	8.79	631

	DES FERMES. Nombre de ...	...	Écartement des fermes.	POIDS de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	TRAVAIL DU MÉTAL PAR MILLIM. CARRÉ. Pièces tendues.	Pièces comprimées.	OBSERVATIONS.
				Hollande.					
2	23	4,7	m 5,08	4710^{k}	5100^{k}	3100^{k}	k 6,75	k 6,75	Grandes travées. Petites travées. A.... 2539^{k} 1117^{k} B.... 1371 784 C'... 127 65 D.... 307 268 E.... 323 445
7	—	—	4,47	2680	3072	3100	6,75	6,75	
,5	25	4..	5,00	4187	4607	3300	6,00	6,00	A.... .... 2528^{k} B .... 1094 D.......... . 273 E...... 292
40	27	4,.	5,24	6162	6570	2875	6,00	6,00	A.. 3602^{k} B.. 1643 C'. 264 D.. 281 E.. 372 Entretoises et longrines en acier.
,7	38	4,.	9,60	13 737 kilogr. (dont 336^{k} en acier).	14,400	4455	10,00	7,00	Décomp. des poids p. la gr. portée : A.. 7245^{k} B.. 3745 C'. 417 (rivets et assemblages). D.. 1697 E.. 633 Entretoises et longrines en acier.
,7	24	3.3	9,60	76[illegible]0	8346	4455	»	»	
1	18	3.3	9,60	4800	5460	4455	»	»	
				Allemagne.					
,8	—	—	8,27	5438	—	4780	7,30	7,30	
2	17	6..	9,00	4930	5600	5975	7,50	7,50	
1	18	5,3	8,79	6310	6980	7570	7,50	7,50	

N° D'ORDRE.	DÉSIGNATION de L'OUVRAGE.	Époque de construction.	NOMBRE et position des voies.	Portée des travées.	SYSTÈME de construction des fermes.	DIMENSIONS DES FERMES. Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur des panneaux.
16	*Pont sur la Vistule*, à Thorn.	1873	2. Inférieures.	m 97,30	Grd treillis avec seme sup. parabe.	m 7,50 14,00	1 : 9,6	18	4,0 à 5,5
17	*Pont sur l'Elbe*, à Hambourg.	1869	2. Au milieu de la hauteur.	99,10	Système lenticulaire.	»	»	26	3,7
18	*Pont sur le Rhin*, à Mayence.	1870	1.	105,23	Id.	0 à 15,00	Moy. de 1 : 14	13	8,0
19	*Pont sur la Vistule*, à Dirschau.	1856	2. Inférieures.	121,10	Treillis à petites mailles, travées discontinues.	8,70	1 : 14	»	»
					Autriche-Hongrie.				
20	*Pont sur l'Elbe*, à Tetschen.	1874	1. Inférieure.	100,00	Grand treillis.	10,00	1 : 10	20	5,0
21	*Pont sur l'Iglawa.*		2. Supérieures.	59,40	Treillis.	3,60	1 : 16	Mailles de 1? de côté.	
22	*Pont sur l'Elbe*, à Aussig.		1 Supérieure avec voie charretière au-dessous.	71,20	Id.	7,36	1 : 9,6	—	—
23	*Pont de Stadlau*, près Vienne.	1870	2. Inférieures.	77,00 64,00	Id.	7,60	1 : 10 1 : 8,40	—	—
24	*Pont sur la Theiss*, à Algyö.	1870	1. Inférieure.	104,00	Id.	10,42	1 : 10	20	[illegible]

Écartement des fermes.	POIDS de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	TRAVAIL DU MÉTAL PAR MILLIM. CARRÉ. Pièces tendues.	Pièces comprimées.	OBSERVATIONS
m 11,51	6300k	6370k	7170k	7k,30	7k,30	
8,38	6140	6140	7170	7,50	7,50	
4,65	3381	3640	3180	8,00	8,00	
6,60	7000	9190	3174	6,80	6,80	
Hongrie.						
5,[illegible]	4240	4500	3970	8,00	8,00	
7,5[illegible]	2835	—		—	—	
5,50	4540	—	5250	6,80	—	
8,43	5450	—	4500	7,50	—	
5,0[illegible]	4380	—	3152	8,00	8,00	



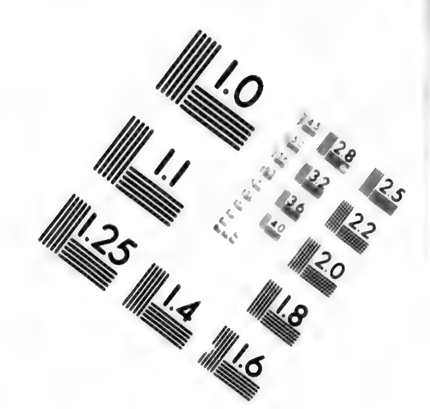
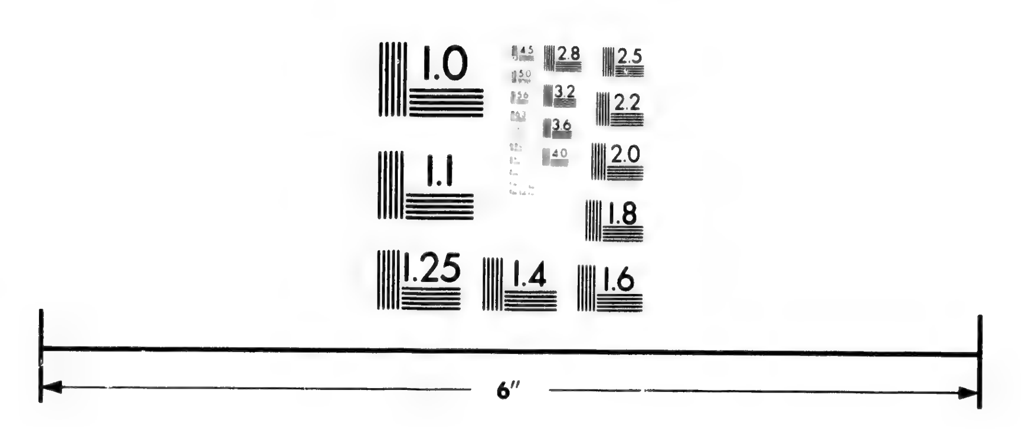


IMAGE EVALUATION
TEST TARGET (MT-3)





N°s D'ORDRE.	DÉSIGNATION de L'OUVRAGE.	Époque de construction.	NOMBRE et position des voies.	Portée des travées.	SYSTÈME de construction des fermes.	DIMENSIONS DES FERMES.				Écartement des fermes.
						Hauteur.	Rapport de la hauteur à la portée.	Nombre de panneaux.	Longueur de panneau.	
									Ita	lie.
25	*Pont sur le Bacchiglione,* près Padoue.	1866	1. Inférieure.	m 60,30	Treillis.	m 5,86	1 : 10,3	Mailles de 1m,65.		m 4,50
26	*Pont sur l'Adige,* à Rovigo.	1866	Id.	48,00 59,00	Id.	5,86	1 : 8,3 1 : 10	Mailles de 1m,60.		4,50
27	*Pont sur le Gorzone,* près Padoue.	1866	Id.	30,00	Id.	3,10	1 : 9,7	Mailles de 1m,40.		4,50

Écartement des fermes.	POIDS de métal par mètre courant.	Poids mort par m. courant.	Poids roulant par m. courant.	TRAVAIL DU MÉTAL PAR MILLIM. CARRÉ. Pièces tendues.	Pièces comprimées.	OBSERVATIONS.
lie.						
4m,50	2991k	3448k	4000k	6k,50	6k,50	Il est entré 187 986 kilogrammes de fer et 2930 kilogr. de fonte dans ce pont; les prix étaient de 0 fr. 84 pour le fer et de 0 fr. 50 pour la fonte par kilogramme mis en œuvre. Y compris les fondations, le pont a coûté environ 250 000 fr.
4,50	2450	—	Id.	6,80	6,50	Il est entré 395 300 kilogrammes de fer et 5525 kilogrammes de fonte dans ce pont; les prix étaient ceux ci-dessus cités. La fondation de chaque pile, ainsi que de chaque culée, a coûté environ 75 000 fr. La dépense totale a été de 751 300 fr.
4,50	1800	—	Id.	6,50	6,50	Il est entré 57 840 kilogrammes de fer et 2070 kilogrammes de fonte dans ce pont. Les prix étaient ceux ci-dessus indiqués. Le pont a coûté en tout 85 700 fr.

CHAPITRE VI

FONDATIONS

Généralités.

Les procédés de fondation pour les ponts, généralement empruntés à l'Europe, ont reçu en Amérique un certain nombre de modifications qui ont permis de les adapter aux particularités du régime des grands cours d'eau qu'il s'agissait de franchir.

Ce qui distingue surtout les fondations des ponts américains, c'est le grand emploi qui y est fait du bois, quel que soit le procédé auquel on ait recours; l'emploi de cette matière dans les fondations n'a pas un caractère transitoire comme dans la superstructure des ponts où elle est peu à peu remplacée par le fer : loin de diminuer, cet emploi est en voie de s'étendre, notamment pour le système de fondation à l'air comprimé, ainsi qu'on peut en juger par le mémoire sur les fondations tubulaires de M. Malézieux, publié en 1874 dans les *Annales des ponts et chaussées*.

C'est principalement dans la vallée du Mississipi que ce système a été employé, et seulement à partir de l'année 1869. Jusqu'alors, ainsi que le remarque M. Malézieux, on ne comptait encore aux États-Unis que trois essais de fondation tubulaire : un premier essai en 1855, sur la rivière Great Pee Dee au passage du chemin de fer de Wilmington à Columbia, puis deux autres en 1859 et 1860, pour des ponts jetés sur les rivières Santee et Savannah au passage du North Eastern R. R. et du chemin de fer de Savannah à Charleston.

Les autres procédés de fondation en usage en Europe, par épuisements, sur pilotis, et par immersion de béton dans l'eau, ont été aussi fréquemment appliqués, ainsi que le procédé dit américain de la fondation par *cribs*, ou encrèchements en charpente, employé surtout pour les ponts d'un caractère provisoire, établis sur les cours d'eau de médiocre profondeur à fond peu affouillable.

Ce dernier procédé n'est pas, à proprement parler, particulier à l'Amérique; il a été appliqué depuis longtemps dans les Alpes à la construction d'un grand nombre de ponts en charpente traversant des torrents, dont les palées sont engagées dans des massifs d'enrochements, enfermés dans des encoffrements en charpente. Ayant en grande quantité sous la main le bois et la pierre, les ingénieurs américains ont été tout naturellement conduits au même procédé, qu'ils ont seulement employé en grand, et avec de nombreux perfectionnements.

Fondation par cribs.

Sur les fonds de rocher où il est surtout employé, le *crib* consiste habituellement en un caisson sans fond, divisé en compartiments par des cloisons longitudinales et transversales, distantes de $0^m,60$ à $1^m,50$, que l'on amène sur l'emplacement de la pile, et que l'on coule à l'aide de pierres placées dans quelques-unes des cases formées par les cloisons et munies pour cela de fonds. On garnit ensuite toutes les cases de pierres jusqu'au sommet des cribs, que l'on couronne d'une plateforme destinée à supporter la pile, et souvent on entoure l'extérieur du crib d'une ceinture d'enrochements.

Les fig. 4 et 5, pl. XXV, reproduisent les dispositions générales d'un de ces cribs dont on rencontre de nombreuses applications dans tous les États de l'Est, notamment en Pennsylvanie.

Le crib est également employé lorsque le fond solide est recouvert d'une couche d'alluvion d'une faible épaisseur : dans ce cas, on le fait reposer sur un massif d'enrochement pénétrant à travers cette couche jusqu'au fond solide, ou bien on détermine l'enfoncement du crib en le chargeant, et l'on extrait à l'intérieur les dépôts vaseux, au moyen de pompes ou de dragues, pour les remplacer par des enrochements ou du béton.

On s'est aussi servi de cribs dans les fondations sur pilotis, soit pour former, au-dessus des pilotis recépés à une certaine profondeur sous l'eau, et garnis d'enrochements, la base des piles, où le crib avec son remplissage en pierres remplace les maçonneries que l'on aurait à exécuter depuis le sommet des pilotis jusqu'au niveau de l'eau, soit pour maintenir autour des pilotis, élevés jusqu'au niveau des basses eaux, des massifs d'enrochements, et rendre ainsi tous les pilotis solidaires.

On peut considérer comme dérivant de ce système de fondation le procédé désigné sous le nom de *Cushing system*, où le crib formant l'enveloppe est remplacé par un cylindre en tôle, entourant un massif de pieux (pl. XXIV, fig. 5 et 6). Le cylindre est descendu aussi bas que possible, et le vide entre les pieux et l'enveloppe métallique est rempli en béton.

Ce système de fondation a l'avantage de protéger efficacement contre toutes les causes de corrosion et d'altération rapide les pilotis, en même temps qu'il assure mieux leur solidarité.

Fondation sur plateforme.

Quelquefois on a recours à la fondation sur grillage. Pour fonder les piles du pont de Point Bridge sur la Monongahela à Pittsburg, après avoir dragué le fond à 3^{m},60 au-dessous du niveau de l'eau, de manière à mettre à nu un banc de tuf (*hard pan*), on est venu échouer une plateforme formée de plusieurs lits de poutres superposées et se croisant à angle droit d'un lit à un autre. Sur cette plateforme, qui avait 26^{m},50 de long et 10^{m},25 de large, un batardeau d'une faible hauteur a servi ensuite à élever les premières assises de maçonnerie.

Fondation par épuisements.

Sur l'Ohio, où l'on rencontre souvent la roche calcaire à peu de distance du fond, on a pu, en profitant des basses eaux, fonder par épuisements à l'intérieur de batardeaux les grands ponts récemment construits à Pittsburg et à Cincinnati; c'est ce procédé qui a été employé au grand pont du Cincinnati-Southern R.R. à Cincinnati, sur un point où la profondeur du rocher ne dépasse pas 6^{m},60 au-dessous des basses eaux.

Le grand pont Victoria à Montréal (Canada) sur le Saint-Laurent, livré à la circulation en 1860, a été également fondé de la même manière par des profondeurs de 1^{m},50 à 4^{m},50 à l'étiage, à l'abri de batardeaux partiellement amovibles, formés par des caissons sans fond ayant 27 mètres de largeur et 57 mètres de longueur, présentant une double enceinte. Ces caissons, munis de flotteurs, étaient amenés par des remorqueurs, puis maintenus en place au moyen de pieux faisant partie de l'enceinte extérieure, que l'on fixait

sur le fond résistant au moyen de barres de fer implantées en leurs centres et terminées par des fleurets d'acier qu'on faisait pénétrer dans le roc. Ces batardeaux, à l'intérieur desquels un corroi de glaise était appliqué pour la mise à sec de la partie centrale par épuisements, étaient démontés à l'approche de l'hiver, afin de les soustraire aux débâcles qui n'auraient pas manqué de les emporter.

Fondation par immersion de béton sous l'eau.

La fondation par immersion de béton sous l'eau a été pratiquée à la fois au Canada et aux États-Unis à de très grandes profondeurs.

Pont de Restigouche. — Au pont de Restigouche sur l'Intercolonial Railway, où la roche calcaire, située à une profondeur de 15 mètres à 22 mètres sous l'eau, était recouverte de couches successives d'argile bleue et de vase mêlée de gravier, les fondations ont été effectuées à l'intérieur d'enceintes de pieux jointifs. Des pilotis espacés de 1 mètre ont été battus de manière à pénétrer dans la couche d'argile, et recépés pour recevoir la plate-forme de fondation, qui a été superposée à une couche de béton.

On a pu effectuer les battages, qui ont compris 1800 mètres courants de pieux, en profitant de l'hiver pour s'installer sur la glace; mais il a fallu, à cause de la violence du courant et des débâcles, protéger les piles pendant la période des travaux, qui a duré cinq ans, de 1870 à 1875, par des brise-glaces isolés, de forme triangulaire, exécutés en *cribworks*. Pour la même raison, on a dû armer les avant-becs de brise-glaces très accentués.

Pont de Miramichi. — Au pont de Miramichi, situé sur la même ligne, où, par économie, on a cru devoir s'arrêter à une couche de gravier agglutiné surmontant l'argile compacte, on a employé pour la fondation des piles un caisson sans fond, formé de poutres superposées et bordées de palplanches, à l'intérieur duquel des cloisons transversales dessinaient plusieurs trémies renversées (pl. XXIV, fig. 1 à 4). Ces trémies renversées, au nombre de quatre, formaient chacune un puisard servant à l'extraction des déblais, opérée d'abord avec des pompes dragueuses, puis avec des dragues à chapelet vertical. On bétonnait au-dessus des quatre chambres de travail correspondantes, à mesure que le fonçage s'opérait. Quand on fut descendu à la profondeur voulue (de 12 mètres à 15 mètres sous l'eau pour les cinq piles), on remplit la chambre de

travail avec du béton coulé sous l'eau jusqu'au sommet du caisson, au niveau duquel un batardeau de 3 à 4 mètres de hauteur servit ensuite à exécuter les premières assises de maçonnerie.

L'une des culées a été également fondée à l'aide d'un caisson, qui ne présentait toutefois que trois trémies. Après avoir descendu ainsi la fondation à 10m,30 au-dessous du niveau des hautes eaux, on a élevé les maçonneries en y ménageant par économie des vides de forme ogivale (pl. XXVI, fig. 11 et 12).

Pour une partie du même pont, à cheval sur deux bras de la rivière Miramichi, on s'est contenté de descendre au moyen de dragages un caisson sans fond, à parois verticales, à une profondeur de 14 mètres au-dessous du niveau de l'eau. Ce caisson fut rempli d'abord de pierres cassées additionnées d'une faible quantité de mortier sur la moitié de sa hauteur, puis de béton. Quand on voulut épuiser à la surface de ce béton pour commencer les maçonneries, des sources se firent jour à travers cette double couche poreuse et, en y augmentant les vides, causèrent ultérieurement des tassements considérables dans les piles sous le poids des maçonneries.

Le fait de la perméabilité du béton de fondation, si fréquent dans les travaux de l'infrastructure des ponts américains, trouve ici son explication toute naturelle dans la composition et le mode de mise en place du béton fabriqué avec du ciment de Portland et coulé sous l'eau. On sait que ce mode d'emploi se prête fort mal à la compacité des massifs de béton confectionné avec le ciment de Portland, qui manque absolument de liant.

Comme exemples de fondations exécutées sans recourir à l'air comprimé, nous citerons encore celles des ponts International sur le Niagara, de Quincy sur le Mississipi, de Kansas City et de Saint-Charles sur le Missouri, et de Poughkeepsie sur l'Hudson.

Fondation du pont International. — Le pont International, terminé en 1873, et destiné à relier les lignes de chemins de fer américains qui aboutissent à Buffalo avec plusieurs lignes canadiennes à travers le Niagara, franchit cette rivière en amont du grand pont suspendu et un peu en aval de Buffalo, en un point où la profondeur d'eau moyenne est de 15m,24, et où la vitesse du courant varie de 2 mètres à 5 mètres par seconde.

Le fond de la rivière, qui charrie en hiver une énorme quantité de blocs de glace, est formé par une couche de glaise compacte d'une certaine épaisseur, superposée au rocher.

Ce pont traverse successivement les deux bras de la rivière au moyen de douze travées, dont neuf sur le bras principal et trois sur le bras secondaire. Les portées des travées fixes varient de 66^{m},75 à 75^{m},59. Il y a deux doubles travées tournantes, une sur chaque bras, dont les longueurs totales sont respectivement de 110^{m},41 et de 66^{m},45.

Toutes les travées sont construites dans le système Linville.

Deux systèmes de fondations ont été employés pour les piles : les unes, notamment les plus rapprochées de la rive canadienne, ont été fondées au moyen de caissons, reposant sur des pilotis et garnis au fond d'une couche de béton de 1^{m},50 d'épaisseur, qui ont été descendus à 3^{m},50 au-dessous des basses eaux; pour les autres, on a eu recours à un système de batardeaux flottants entourant un caisson, porté, soit par des pilotis, soit par le sol naturel préalablement dressé ou égalisé au moyen d'enrochements (fig. 9 à 13, pl. XXIV)[1].

Les batardeaux flottants, destinés à protéger les travaux de fondation contre l'action du courant, avaient cela de particulier, qu'ils présentaient deux parois parallèles formées par la superposition de poutres horizontales soigneusement calfatées, et qu'ils se terminaient par un biseau.

Ils présentaient les dimensions suivantes :

Longueur de l'avant-bec........	8^{m},20	29^{m},50
« de la partie droite...	16 ,60	
« de l'arrière-bec......	4 ,70	
Largeur totale intérieure..............		9 ,00
Épaisseur de l'enveloppe..............		2 ,30
Hauteur du batardeau..................		14 ,00
Hauteur du biseau.....................		2 ,20

L'assemblage des poutres formant le batardeau était fait au moyen de longues broches de fer qui permettaient d'enlever la partie supérieure après l'achèvement des maçonneries.

Chaque batardeau flottant, muni d'un gouvernail, était amené en place, puis tenu sur des ancres, et coulé, par l'introduction d'enrochements, sur le lit de la rivière où l'on avait préparé sa place par des dragages. Il était entouré ensuite d'enrochements à l'extérieur et

1. Ces figures sont empruntées à l'ouvrage de M. Comolli sur les Ponts américains.

garni à l'intérieur, après la mise en place du caisson dans lequel se construisait la pile, de sacs de béton amenés sous le biseau de l'enveloppe.

Quand la fondation devait reposer sur des pilotis, ces pilotis étaient recépés à 9^m,50 sous les basses eaux, c'est-à-dire un peu au-dessus de la pointe du biseau du batardeau. On les coiffait de chapeaux, et on descendait ensuite à l'intérieur un caisson dont le fond était garni de béton, et dans l'intérieur duquel on exécutait les maçonneries. Les parois du batardeau et du caisson étaient ensuite démontées et arasées à 9^m,25 sous les basses eaux.

Là où il ne devait pas être battu de pilotis, on dérasait à l'intérieur le fond au moyen de dragues jusqu'au niveau de la tranche inférieure du batardeau, puis on y descendait un caisson dont le fond était constitué par une épaisseur de 1^m,80 de poutres entre-croisées, et à l'intérieur duquel on coulait une couche de béton de deux mètres, destinée à supporter les maçonneries par l'intermédiaire d'un grillage.

Dans ce cas comme dans le précédent, on garnissait d'argile l'intervalle, de 0^m,60 environ, existant entre le batardeau et le caisson, pour pouvoir épuiser à l'intérieur de celui-ci ; l'argile dut être remplacée par du béton ou par des sacs remplis de mortier, sur certains points où se manifestèrent des fuites. Il arriva néanmoins plusieurs fois que les eaux, en jaillissant à l'intérieur du caisson, vinrent entraver l'exécution des maçonneries. En remplissant, sur les points où se produisait le jaillissement, l'intervalle entre le caisson et les maçonneries déjà exécutées, d'argile ou de béton, on finit toujours par étancher le caisson.

Les fréquents accidents de ce genre, survenus en cours d'exécution, ont démontré le défaut de résistance des batardeaux extérieurs, construits avec une épaisseur insuffisante, et ce n'est qu'en les rendant solidaires des caissons par de nombreux étais et par le remplissage final en béton, indiqué ci-dessus, qu'on est parvenu à assurer à la fois leur stabilité et leur étanchéité.

Les parties conservées des batardeaux, qui ont été garnies d'enrochements sur leur pourtour, et qui pénètrent de 5 à 6 mètres dans le lit de la rivière, servent à protéger les piles contre les affouillements.

Les piles sont munies de brise-glaces descendant très bas et recouverts, jusqu'à une hauteur de 1^m,22 au-dessus du niveau des

basses eaux, de tôle de $0^{m},012$ d'épaisseur. Les fermes de la charpente métallique des travées ont été mises en place au moyen d'échafaudages reposant en partie sur des palées, en partie sur des pontons où l'on introduisait de l'eau pour amener les fermes à leur niveau.

Pont de Quincy. — Le Mississipi, avant son confluent avec le Missouri, a généralement un régime assez régulier, et un lit assez peu sujet aux affouillements. On a pu en conséquence, pour le pont de Quincy, construit sur ce fleuve par M. Thomas Clarke, à qui l'on doit aussi le pont de Girard Bridge à Philadelphie, se contenter du procédé de fondation précédemment décrit pour le pont de Restigouche, à cela près que les pilotis de fondation ont été battus à l'intérieur de cribs, et qu'on a descendu, sur la tête des pilotis recépés, une plate forme composée de plusieurs lits superposés de poutres, au moyen de boulons de suspension.

Sur le Missouri, dont le cours, à partir de sa source dans les Montagnes Rocheuses, est beaucoup plus rapide, et dont les eaux sont chargées d'une masse considérable de matières détritiques arrachées à ses rives, l'instabilité du fond, composé de vase et de sable extrêmement mobile recouvrant le rocher sur des profondeurs souvent très grandes, la violence des crues, et les masses considérables de glaces entraînées par les débâcles, concourent à rendre les travaux de fondation extrêmement difficiles. La période utilisable pour les travaux est en outre très courte, les crues étant à craindre depuis février jusqu'en août, et la formation des glaces commençant dès le mois de décembre. Il serait absolument impossible de songer à fonder des piles en rivière sans les faire reposer directement sur le rocher, et c'est seulement à la condition de protéger par des travaux de défense les parties submersibles de la vallée de part et d'autre du lit qu'on peut éviter cette nécessité pour les autres piles.

Pont de Kansas City. — Au pont de Kansas City, construit de 1867 à 1869 par M. M. O. Chanute et G. Morison, on est parvenu à fonder un certain nombre de piles, soit par épuisements, soit en bétonnant sous l'eau, après avoir foncé les caissons en s'aidant de jets d'eau comprimée que des plongeurs dirigeaient sur leur pourtour pour désagréger le sable. Au milieu du chenal, où le courant était extrêmement violent, on n'a pu s'établir qu'à la condition de se défendre contre le courant par un crib échoué transversalement. Malgré cette

précaution, les crues[1] et les débâcles, en déterminant des affouillements dans le fond extrêmement mobile du lit, ont, à diverses reprises, emporté tous les pieux d'échafaudages, et ce n'est qu'avec la plus grande difficulté que l'on est parvenu à amener à profondeur les caissons sans fond, qui rappelaient par leur disposition intérieure le caisson déjà décrit pour le pont de Miramichi. Une drague à chapelets servait à l'extraction des déblais, qui se compliquait de l'enlèvement de grosses pierres fréquemment engagées sous les bords du caisson.

Pour la quatrième pile, une de celles dont la fondation a été la plus laborieuse, le caisson, construit pour supporter 12 mètres de hauteur de maçonnerie, avait 21 mètres de longueur, 6m,20 de largeur et 12 mètres de hauteur; il était percé de quatre puits verticaux pour l'extraction des déblais; le fonçage en a demandé cinq mois, sa mise en place ayant eu lieu le 21 octobre 1868, et le roc ayant été atteint le 11 mars suivant.

Pour l'enfoncement des pieux destinés à supporter au moyen de grillages les piles situées en dehors du lit du fleuve, on s'est servi d'un procédé qui commence à recevoir maintenant quelques applications en Europe. Au moyen d'un tuyau à gaz, logé dans une rainure longitudinale pratiquée le long du pieu et aboutissant à un trou ménagé dans la pointe du sabot en fonte (fig. 7 et 8, pl. XXIV), on injectait de l'eau comprimée pour désagréger le sol et faciliter le battage.

Les pieux descendaient ainsi, sous la charge d'un mouton pesant une tonne, de 4 à 5 mètres dans le sable. On achevait la mise à fond à coups de mouton, en commençant par de faibles chutes et forçant ensuite les chutes jusqu'au refus.

Pont de Saint-Charles. — Au pont de Saint-Charles sur le Missouri, dont le lit a dû être préalablement fixé par l'exécution d'une digue s'étendant à une certaine distance en amont et en aval du pont, on est parvenu également à fonder un certain nombre de piles sans recourir à l'air comprimé, au moyen du même système de caissons, et à l'aide de jets d'eau à haute pression pour produire la désagrégation du sol, en atteignant des profondeurs de 7 à 16 mètres sous l'eau. Ce fonçage a été plusieurs fois dérangé par des crues qui ont

1. En 1867 les variations de niveau ont été de 6m,55. — En 1844, les hautes eaux avaient dépassé de 11m,44 le niveau des basses eaux de 1867.

tantôt produit des affouillements considérables sous le caisson, tantôt rempli complètement les fouilles de matières charriées en brisant tous les pilotis des échafaudages.

Pont de Poughkeepsie. — L'exemple le plus remarquable de l'emploi du procédé de fondation par immersion de béton sous l'eau est celui des fondations du pont de Poughkeepsie, commencé en 1876 sur l'Hudson à 120 kilomètres en amont de New-York [1].

Ce pont traverse l'Hudson en un point où la largeur du fleuve est de 740 mètres, et où les marées produisent des courants de 1m,30 environ de vitesse par seconde. La profondeur de l'eau est en ce point de 15 à 18 mètres, et le lit du fleuve est constitué par des couches successives de vase, d'argile, de sable, et de gravier parsemé de gros blocs recouvrant le roc, qui est situé à une profondeur de 36 à 44 mètres.

Le pont actuellement en cours d'exécution doit présenter cinq travées de 160 mètres de portée chacune, et de 62m,50 de hauteur, mesurée du niveau des rails à celui des basses eaux. Les quatre piles doivent être construites en maçonnerie de granite, et les surfaces des massifs de fondation sont calculées de manière à ne pas dépasser une pression de 11 kilogrammes par centimètre carré.

Les culées seules doivent reposer directement sur le roc ; pour les piles, les fondations doivent s'arrêter dans la couche de gravier superposée à la roche, à des profondeurs variant d'une pile à l'autre entre 28 et 38 mètres sous les basses eaux.

Les caissons de fondation ont 18m,20 de large et 30m,50 de long : ils sont entièrement construits en poutres de *yellow pine* et de *hemlock* (sapin tendre) de 0m,30 d'équarrissage (pl. XXV, fig. 6, 7 et 8).

Chaque caisson présente à sa partie inférieure quatre cloisons longitudinales et sept cloisons transversales dessinant ensemble quarante chambres, dont douze sont destinées à rester ouvertes pour l'extraction des déblais, et les vingt-huit autres contiennent une charge de béton suffisante pour déterminer l'immersion du caisson.

Les cloisons longitudinales et les bords du caisson sont terminés à leurs parties inférieures par des biseaux, armés de fer sur une

---

1. Par ce pont, le parcours par voie ferrée entre Boston et Pittsburg, ainsi qu'entre Boston et les bassins houillers de la Pennsylvanie et la région du Pétrole, doit être réduit d'environ 160 kilomètres.

certaine hauteur : les cloisons transversales qui les relient commencent seulement $1^m,20$ plus haut; elles ont, ainsi que les bords du caisson, une épaisseur de trois poutres (0^m, 915).

Par les douze chambres vides, de $3^m,60$ en carré, se fait l'extraction des déblais au moyen de dragues à mâchoires (*clam shells*); on règle le fonçage en poussant avec plus ou moins d'activité l'extraction de chaque chambre de travail.

Malgré les grandes profondeurs atteintes, les dragages et la régularisation de la descente se sont opérés sans difficulté pour les caissons jusquà présent mis en place. La mise à fond une fois terminée, des plongeurs munis de scaphandres explorent les compartiments dragués, et débarrassent complètement le fond des vases qui y restent encore; puis on commence le bétonnage sous l'eau, opéré aussi avec des *clam shells* contenant de 3 à 4 mètres de béton, que l'on descend jusqu'au fond.

Le remplissage se fait ainsi jusqu'à 6 mètres en contre-bas du niveau des basses eaux; à ce niveau commencent les maçonneries que l'on effectue d'abord à l'abri du batardeau formé par la partie supérieure du caisson.

Chaque caisson contient 5900 mètres cubes de bois et 350 tonnes de fer. Le béton est constitué par un mélange de ciments de Portland et de Rosendale additionné de sable et de pierres cassées dans la proportion de 5 à 1.

Au milieu de l'année 1878, une première pile avait été fondée par ce procédé, sous la direction de MM. P. P. Dickinson, ingénieur en chef de la Compagnie du pont de Poughkeepsie, et W. G. Cooledge, ingénieur de l'American Bridge C^y.

Pieux à vis.

Un système dont on commence également à faire quelques applications dans les terrains marécageux que l'on rencontre dans les États du Sud est celui des pieux à vis, exécutés principalement par les deux compagnies, de l'American Bridge, et de Phénixville. Des pieux à vis, distribués sur deux palées, reliées dans les deux directions perpendiculaires au moyen d'entretoises horizontales et de croix de Saint-André, constituent une pile. Ces pieux sont construits en fonte ou en fer laminé; ils ont de $0^m,15$ à $0^m,20$ de diamètre, et les hélices ont un diamètre de $1^m,20$ à 1^m80.

Fondations à l'air comprimé.

C'est surtout sur le cours du Missouri dont le lit, instable à de grandes profondeurs, présente pour les fondations, ainsi que nous l'avons vu précédemment, des difficultés spéciales, que se sont multipliées les applications de l'air comprimé.

Pont de Saint-Charles sur le Missouri. — C'est à l'emploi de l'air comprimé qu'on a eu finalement recours pour terminer les fondations du pont de Saint-Charles précédemment décrit, dont la cinquième pile a été fondée sur le roc par ce procédé, à $20^{m},40$ au-dessous des basses eaux.

Comme au pont de Saint-Louis, dont il sera question plus loin, l'écluse à air était placée immédiatement au-dessus de la chambre de travail; cette écluse à air était double; l'une servait pour le passage des hommes et des matériaux; l'autre, affectée à l'extraction des gros blocs, avait 3 mètres de hauteur, et elle était disposée de manière à en accélérer le passage. A cet effet, elle s'ouvrait à l'intérieur de la chambre de travail par deux larges portes par lesquelles passaient les wagonnets chargés des blocs extraits; on fermait rapidement ces portes, puis, l'air une fois échappé, on faisait descendre un ascenseur qui emportait les wagonnets et les ramenait après déchargement. Toute l'opération ne demandait pas plus de trois minutes.

Une des particularités du fonçage a été le frottement considérable que le caisson avait à surmonter. Il a été évalué à 2000 kilogrammes par mètre carré de surface latérale; pour le vaincre, il fallait fréquemment laisser échapper l'air par les pompes à sable dont on se servait pour les déblais. Néanmoins le fonçage n'a pas demandé plus de 49 jours; le maximum d'enfoncement constaté en 24 heures a été de 1 mètre [1].

Pour les fondations des piles du même pont qui se trouvaient abritées par la digue de défense, on s'est servi de caissons sans fond, à l'intérieur desquels on a dragué, puis battu des pilotis sur lesquels on a fait reposer les maçonneries.

La grande rapidité du courant, la hauteur des crues qui dépassait 12 mètres, et les affouillements qui ont atteint jusqu'à 13 mètres à

1. Dans plusieurs séries d'expériences faites par M. A. Schmoll, ingénieur de Vienne,

la suite des crues, et qui se produisaient par le seul effet de la mise en place des caissons, en sorte qu'il arrivait parfois que le fonçage allait jusqu'à 9 mètres sans s'arrêter, ont rendu les fondations du pont de Saint-Charles exceptionnellement difficiles et coûteuses.

Tous les autres ponts établis dans ces dernières années sur le Missouri ont été fondés entièrement à l'aide de l'air comprimé. Nous nous bornerons à décrire sommairement les principales applications qui ont été faites de ce procédé en signalant les innovations qui les caractérisent.

Pont d'Omaha sur le Missouri. — Le premier pont sur le Missouri auquel a été appliqué sur une grande échelle le système de fondation tubulaire est le pont d'Omaha, dont les onze piles sont composées chacune de deux colonnes cylindriques en fonte de $2^m,60$ de diamètre, foncées, par ce procédé, à une profondeur de 25 mètres sous l'eau ; les tubes penètrent jusqu'au rocher, où ils s'engagent de $0^m,60$ après avoir traversé un fond de gravier et de sable.

---

qui a suivi les fondations tubulaires de divers grands ponts européens, il a été constaté que le frottement était très variable.

Le tableau ci-après, emprunté à un mémoire publié par cet ingénieur, peut en donner une idée :

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.		PROFONDEUR d'enfoncement sous l'eau au moment de l'expérience.	RÉSISTANCE de frottement constatée par mètre carré de surface latérale.
		m.	
Pont sur la Seine, à Orival, près Elbeuf	5e pile......	10.30	1358 kilogr.
		15,15	795 »
Pont de Stadlau, sur le Danube, près de Vienne ...	1re pile......	4,95	2870 »
		5,53	2152 »
	2e pile......	5,68	3879 »
		7,56	3148 »
Pont sur le Danube, à Vienne.................	Pile latérale sur la rive droite.	8,44	2713 »
		11,32	2341 »
		14,46	1866 »

On voit par ce tableau que l'intensité du frottement est susceptible de dépasser notablement celle qui a été constatée en Amérique (2000 kilogr. à Saint-Charles et à Atchison, 2600 kilogr. au pont de l'East River par mètre carré), et qu'elle diminue généralement dans un même terrain avec la profondeur d'enfoncement. M. Schmoll explique ce fait par l'accroissement de la cohésion, qui aurait pour effet de diminuer la pression normale sur les parois du caisson.

Deux perfectionnements ont signalé à Omaha l'emploi de la fondation tubulaire : 1° un moyen plus rapide d'évacuation pour les déblais par l'emploi d'un couloir incliné formant écluse à air, et recevant les matières extraites pour les verser à l'extérieur par un jeu très simple de soupapes et de robinets; 2° la nouvelle position donnée à l'écluse à air, qui dans les dernières piles a été placée en bas des colonnes, ce qui en évite le déplacement, et réduit le volume occupé par l'air comprimé [1].

Les difficultés qu'on a rencontrées à Omaha pour redresser les tubes des piles ont fait ressortir les inconvénients que présentent les caissons de faible section pour les fondations à une grande profondeur, en raison de leur peu de stabilité. Un des cylindres, dévié verticalement, n'a pu être redressé que par un soulèvement obtenu au moyen d'un excès de pression qui a failli le crever, et qui a dû être aidé par des déblais effectués à l'intérieur.

Une autre fois, l'échappement de l'air par suite d'une déchirure dans le bourrelet en caoutchouc interposé entre deux anneaux ayant eu pour effet de désagréger le terrain et de faire pencher le tube de $1^{m},20$ d'un côté, on y a remédié en étanchant la fuite et en pratiquant un trou à l'opposé.

Aussi le système de fondation au moyen des colonnes cylindriques a-t-il fait place généralement au système des grands caissons dont le pont de Saint-Louis, fondé de 1868 à 1870 sur le Mississipi, offre l'exemple le plus remarquable.

Pont de South-Street à Philadelphie, sur le Schuylkill. — On peut toutefois citer, comme exemple intéressant de fondation à l'air comprimé avec colonnes cylindriques opérée dans des conditions économiques, le pont de South-Street à Philadelphie, établi de 1871 à 1873 sur le Schuylkill, près de son embouchure dans la Delaware.

Ce pont est situé en un point où la rivière présente une largeur de 130 mètres, et une profondeur de 6 mètres à basse mer et de

1. M. T. E. Sickels, ingénieur chargé de la direction des travaux du pont d'Omaha, a été conduit à adopter cette position pour l'écluse à air en cherchant à prévenir la grande inégalité d'enfoncement qui se produisait, lorsque, pour accélérer la descente, on laissait l'air comprimé s'échapper de l'intérieur du tube. Ayant placé d'abord, à cet effet, sur les rebords du premier tube, un premier diaphragme, il en ajouta bientôt un second, constituant avec le premier une véritable écluse à air.

La même idée était venue vers la même époque à l'esprit de M. J. Eads, alors occupé des fondations à l'air comprimé du pont de Saint-Louis.

$8^{m},40$ à haute mer. Le fond est constitué par une couche de vase sableuse d'une épaisseur de 1 mètre à $7^{m},30$, recouvrant une roche micaschisteuse à surface très irrégulière.

Les piles du pont, comprenant quatre travées, dont une double travée tournante, reposent en totalité sur treize colonnes ayant des diamètres de $2^{m},40$, $1^{m},80$ et $1^{m},20$.

L'écluse à air, employée à la fondation de chaque pile, avait cela de particulier qu'elle se trouvait successivement placée à divers points de la hauteur des colonnes, dont les anneaux métalliques pouvaient recevoir à l'intérieur, sur leurs brides d'assemblage, des diaphragmes circulaires amovibles. La chambre à air de 3 mètres de hauteur, comprise entre deux diaphragmes, était établie à la partie supérieure de la colonne au commencement du fonçage, et elle était ensuite surmontée de plusieurs anneaux au fur et à mesure de l'enfoncement.

Le lest nécessaire pour l'enfoncement consistait en pierres arrimées dans une cage en bois placée sous l'écluse à air et traversée par un puits de descente : ces pierres étaient plus tard employées au remplissage intérieur en maçonnerie.

L'enlèvement des déblais se faisait avec des sacs en toile qu'on rangeait dans l'écluse à air, au fur et à mesure de leur remplissage, pour les vider à la fin de chaque période de travail, qui était de quatre heures.

Les colonnes ont été assujetties sur le fond au moyen de patins, se reliant par des armatures aux parois du premier anneau, et scellés dans le roc.

Le fonçage des colonnes, auquel on employait, dans la chambre de travail, deux hommes pour les plus petites, et quatre pour les autres, a demandé, pour les premières, neuf jours en moyenne, et de quatorze à trente jours pour les secondes, suivant l'importance des dérasements effectués sur le roc. Dans les plus petites colonnes, la réduction de l'espace rendait le travail des ouvriers assez pénible.

La fondation des treize colonnes a coûté 220 000 francs, soit par colonne 17 000 francs environ.

La contraction produite par les gelées a déterminé ultérieurement, dans l'enveloppe métallique des colonnes, ainsi qu'on l'avait déjà constaté aux ponts d'Omaha et de Harlem près New-York, d'assez nombreuses cassures que l'on aurait peut-être prévenues

par l'interposition d'une matière élastique entre l'enveloppe et le noyau en maçonnerie : il ne paraît pas du reste que ce remède, indiqué par quelques ingénieurs américains, ait été essayé jusqu'à présent [1].

Pont de Saint-Louis. — On connaît par le rapport de M. Malézieux tous les détails des travaux de fondation de ce pont exécutés jusqu'à des profondeurs de 33 mètres en contre-bas du niveau des eaux ordinaires. La culée de l'Ouest a pu seule être établie directement sur le rocher par épuisements; pour l'autre culée et les deux piles, le fonçage a été opéré à l'air comprimé, appliqué à des caissons de forme hexagonale ayant $18^{m},50$ de largeur sur 25 mètres de longueur pour les piles, et $22^{m},50$ sur $25^{m},60$ pour la culée de l'Est.

Les deux piles ont été fondées avec des caissons en tôle divisés en trois compartiments par des poutres superposées formant cloisons; la culée, au moyen d'un caisson principalement construit en bois. Au-dessus de la chambre de travail, une plate-forme de $1^{m},47$ d'épaisseur était constituée par des pièces de charpente supportées par des cloisons longitudinales espacées de $3^{m},05$, de $1^{m},06$ d'épaisseur et de 3 mètres de hauteur. Les bords du caisson étaient seulement revêtus à l'extérieur d'une feuille de tôle renforcée par des cornières.

Les écluses à air, au nombre de quatre, dont deux de $2^{m},44$ de diamètre et deux autres de $1^{m},22$ de largeur, étaient, comme aux dernières piles du pont d'Omaha, placées en bas.

C'est à ces fondations que paraît avoir été fait, pour l'extraction des déblais, le premier usage de la pompe à sable, où l'aspiration et la montée de cette matière sont produites par une veine liquide pénétrant sous une forte pression à l'intérieur d'un tube par une ouverture annulaire étroite.

Cette innovation, ainsi que l'emploi du bois, substitué au fer pour les caissons, qui a l'avantage d'en rendre la construction plus économique, la mise en place plus facile, et l'étaiement intérieur plus commode, a été appliquée à la plupart des fondations tubulaires exécutées depuis en Amérique.

---

[1] Ces renseignements sur le pont de South-Street sont extraits d'un mémoire de M. Mac N. Stauffer, inséré dans les *Transactions de la Société américaine des ingénieurs civils*, octobre 1878.

Le remplissage en béton de la chambre de travail a été limité au pourtour du caisson; on a remplacé le béton par du sable à l'intérieur, ce qui a permis d'abréger notablement le remplissage, et de diminuer la dépense.

Les opérations de fonçage et de remplissage des piles ont demandé :

INDICATION DES PILES ET CULÉES.	SUPERFICIE en mètres carrés.	PROFONDEUR en mètres.	NOMBRE DE JOURS	
			de FONÇAGE.	de REMPLISSAGE.
Pile de l'Est............. ..	373,50	31,00	133	53
Pile de l'Ouest..............	373,50	23,40	77	»
Culée de l'Est	465,00	33,00	115	»

La pression a atteint dans la chambre de travail $3^{atm},6$. A cette pression, il était nécessaire de réduire la durée du séjour des ouvriers à une heure pour rendre le travail supportable[1].

Le même système de fondation a été depuis appliqué à plusieurs ponts construits sur le Missouri par diverses sociétés de construction telles que l'Américan Bridge Cy et la Detroit Bridge Cy.

Pont d'Atchison. — Les figures 1, 2 et 3, planche XXV, reproduisent les dispositions adoptées à Atchison pour le pont construit sur le Missouri par l'American Bridge Cy. Le Missouri a sur ce point une largeur de 330 mètres avec une profondeur moyenne de 16 mètres. La profondeur du roc au-dessous de l'eau varie de $6^m,60$ à 24 mètres; la vitesse du courant atteint souvent $3^m,50$ par seconde, et les affouillements descendent en quelques heures à une profondeur de 12 mètres.

La pile circulaire, de $10^m,40$ de diamètre, destinée à supporter la double travée tournante de ce pont, a été fondée sur un caisson en bois de 6 mètres d'épaisseur, y compris la chambre de travail dont la hauteur était de $2^m,70$, et qui était divisée en 4 compartiments par des cloisons rayonnantes. Ce caisson, construit sur la rive, a

1. Le docteur Jaminet, chargé du service médical du chantier, attribue à l'excès d'oxygène absorbé par l'organisme les maladies contractées par les ouvriers soumis à cette pression. Le docteur Andrew Smith, chargé d'un service analogue aux fondations du pont de l'East River, à New-York, est arrivé à d'autres conclusions.

été amené en place sur des flotteurs et immergé par une profondeur d'eau de 9 mètres, à l'abri d'une estacade de défense.

L'écluse à air pour le passage des ouvriers, placée en haut, avait 1^{m},50 de diamètre et 2^{m},10 de hauteur. Un autre puits de moindre dimension servait à l'introduction et à la sortie des matériaux. L'extraction était effectuée sur chaque point par un double jeu de pompes à sable; l'une servait à désagréger la matière, l'autre à monter la matière ainsi désagrégée. L'air comprimé était amené de la berge, où se trouvaient installées les pompes de compression, par des tuyaux de 0^{m},125 de diamètre.

Les autres piles foncées par le même procédé, par des profondeurs de 18^{m},10, 22^{m},50 et 23^{m},40, à travers une couche de sable mêlé d'argile, ont demandé en moyenne chacune trente jours pour la mise à fond.

Ce procédé a été également appliqué à la fondation des ponts sur l'Arkansas River, le Fall River, le Des-Moines River, et sur le Missouri (à Boonville), par des profondeurs variant de 7 mètres à 23^{m},40.

Pont de Saint-Joseph. — Le pont de Saint-Joseph (Missouri), construit de 1871 à 1873 par la compagnie de construction de ponts de Detroit (Michigan), a été fondé dans les mêmes conditions, à une profondeur de 13^{m},50 au-dessous des basses eaux.

Chaque caisson en bois, de 7^{m},20 de large et de 16^{m},80 de long, présentait 2^{m},10 d'épaisseur au plafond ; les bords du caisson, de 0^{m},90 d'épaisseur, étaient constitués par des poutres placées en retraite les unes par rapport aux autres, de manière à obliger le caisson à s'arrêter quand il descendait trop vite. L'écluse à air était placée au bas des puits de descente. On a fait, comme aux ponts précédents, un grand usage de la pompe à sable, et effectué finalement le fonçage de chaque pile en une période de vingt-quatre à trente et un jours, pendant lesquels on a extrait de 1500 à 2500 mètres cubes de déblais avec des pompes à sable; il y en avait deux par caisson. On a constaté qu'une pompe à sable de 0^{m},089 d'ouverture pouvait élever par heure, à 36 mètres de hauteur, 15^{m3},30 de sable, en travaillant à une pression de 10 kilogrammes par centimètre carré.

Les machines soufflantes consistaient en six pompes, actionnées par quatre machines à vapeur représentant ensemble une force de 300 chevaux; elles pouvaient fournir par seconde 2^{m3},80 d'air à une pression effective de 1^{atm},50.

La perméabilité des caissons, en favorisant la déperdition de l'air comprimé, n'a pas peu contribué sans doute à rendre nécessaire une pareille force motrice.

Le remplissage s'est fait comme au pont de Saint-Louis, en partie avec du béton, en partie avec du sable.

Un certain nombre de caissons ont pu être montés sur place dans les parties peu profondes de la rivière, et descendus en minant le sable à l'aide de l'eau comprimée sous les blocs en bois sur lesquels ils reposaient.

Pont sur l'East River à New-York. — Les plus grands caissons foncés à l'air comprimé qui aient été construits jusqu'à présent sont ceux du pont suspendu sur l'East River, entre New-York et Brooklyn.

Ces deux caissons, dont la construction et le fonçage ont été décrits en détail dans le mémoire ci-dessus mentionné de M. Malézieux, avaient $52^m,50$ de longueur, et $31^m,50$ de largeur, soit une superficie de 16 ares environ; ils ont été foncés au-dessous du niveau des plus hautes mers, l'un, à 15 mètres (pile de Brooklyn), l'autre, à 24 mètres (pile de New-York). Du coté de Brooklyn, la roche, composée de gneiss, présentait à une profondeur relativement faible une grande résistance, tandis que, du coté de New-York, il fallait traverser plusieurs couches de vase et de sable mêlé de galets et de fragments de roche pour atteindre un fond solide.

Le fond du caisson, pour la pile de Brooklyn, avait une épaisseur de $4^m,60$ formée par des poutres d'environ $0^m,32$ d'équarrissage, entre-croisées; cette épaisseur a été portée à $6^m,70$ pour le caisson de la pile de New-York, sur lequel on avait calculé que la charge par mètre carré pourrait s'élever à 71 tonnes. Dans l'une et l'autre, il y avait cinq cloisons transversales de $0^m,60$ d'épaisseur; on avait ajouté deux cloisons longitudinales pour augmenter sous la pile de New-York la surface portante, qui était double de celle du caisson de Brooklyn; on a voulu ainsi prévenir le danger d'une descente brusque, se produisant à la suite d'un échappement subit de l'air comprimé.

A Brooklyn, l'extraction des déblais, vase, sable et blocs, a été faite par deux puits à fermeture hydraulique de $2^m,13$ sur $1^m,98$, au moyen de la drague Morris et Cumings; on a dû faire partir un certain nombre de mines dans l'air comprimé pour briser les blocs de trapp engagés dans la vase; il y avait, en outre, deux puits

éclusés pour la descente des matériaux, et deux puits de descente pour les ouvriers. Ces puits se terminaient par des écluses à air placées immédiatement au-dessus du ciel du caisson.

Pour la pile de New-York, les puits d'extraction étaient circulaires et avaient un diamètre de $2^{m},36$; on a de plus doublé les puits pour l'introduction des matériaux, et les écluses à air au bas des puits de descente pour accélérer le passage des ouvriers, dont le nombre s'est élevé jusqu'à 120. Ces écluses à air ont été en outre placées plus bas.

Les déblais sous la pile de New-York ont été principalement extraits à l'aide de pompes à sable.

Dans ces pompes, l'ascension du sable était obtenue avec l'air même des chambres de travail. On avait calculé que, pour renouveler convenablement l'air et l'empêcher d'être trop rapidement vicié par l'accumulation de l'acide carbonique, l'injection de l'air comprimé devait se faire à raison de 7 mètres cubes par minute[1]. Comme les fuites étaient assez faibles, grâce au calfatage très soigné de toutes les parties du caisson, l'évacuation de l'air vicié, faite par des tubes verticaux passant dans le plafond de la chambre de travail, au pied desquels on mettait en tas le sable pioché par les ouvriers, a été utilisée pour produire l'ascension du sable. Ces tubes qui avaient de $0^{m},06$ à $0^{m},09$ de diamètre étaient munis de robinets de même ouverture.

Le sable était lancé à la partie supérieure du caisson avec une

---

1. Dans un rapport présenté à la Société américaine des ingénieurs civils, à New-York, en 1872, M. Collingwood, ingénieur en chef adjoint des travaux du pont sur l'East River, donne ce calcul établi de la manière suivante :

On admettait pour chaque ouvrier une absorption par minute de 22 litres d'air donnant lieu à la production de $0^{l},123$ d'acide carbonique, soit, pour soixante-dix ouvriers, $8^{l},60$ d'acide carbonique, et l'on supposait que les 14 litres de gaz d'éclairage employés par minute donnaient une égale quantité de même gaz, soit 14 litres, ou en totalité, $22^{l},60$.

On estimait, d'autre part, à 30 p. 1000 la proportion d'acide carbonique qu'il convient de ne pas dépasser pour ne pas nuire à la santé des ouvriers.

Il s'ensuit que la quantité d'air à injecter devait être d'au moins $\frac{0,0226}{0,003} = 7^{m3},53$.

Les analyses d'air ont effectivement démontré qu'avec une injection d'air d'environ 7^{m3} par minute la proportion de 0,003 n'était pas dépassée.

Le temps de séjour des ouvriers a été réduit pendant la durée du fonçage en proportion inverse de la profondeur. Le séjour journalier, partagé en deux reprises égales, était de 7 heures et demie à 8 heures, à une profondeur de 13 à 14 mètres, et de 4 heures, à 21 mètres de profondeur.

force de projection considérable, à laquelle on n'est parvenu à résister qu'en plaçant des plaques de granite à l'orifice des tuyaux. Un seul tuyau donnait 1 mètre cube de sable en deux minutes, à une profondeur de 20 mètres. Le produit atteignait de 600 à 700 mètres cubes par jour.

Les travaux de fonçage de la pile de Brooklyn ont été interrompus par plusieurs accidents : un incendie qui n'a pu être arrêté que par la submersion de l'intérieur du caisson, une explosion survenue en l'absence des ouvriers, et causée par le brusque abaissement de la colonne d'eau dans le puits à fermeture hydraulique, qui a déterminé la projection d'une certaine quantité d'eau et de déblais entraînés par l'air en s'échappant, et un dernier accident causé également par le brusque échappement de l'air dans un des puits de descente des matériaux, fonctionnant comme écluse, par suite du défaut de fermeture de la porte d'introduction d'en bas, obstruée par ces matériaux. Aucun de ces accidents n'a eu d'ailleurs de conséquences graves.

Le fonçage de la pile de New-York a duré cinq mois, pendant lesquels on a extrait près de 20 000 mètres cubes de déblais, sous une pression qui a varié de 1 atmosphère à $2^{atm},50$.

Conclusions. — L'examen que nous venons de faire des divers systèmes de fondation en usage dans l'Amérique du Nord permet de juger de l'importance qu'y a prise le système des fondations tubulaires, particulièrement propre à surmonter les obstacles qui résultent du régime exceptionnel des grands fleuves, et dont l'emploi paraît avoir été retardé pendant quelque temps par l'hésitation qu'on éprouvait à s'engager dans les frais d'acquisition d'un matériel dispendieux.

Les exemples que nous avons cités de l'application des autres systèmes de fondation et des difficultés qu'elle a rencontrées dans la plupart des cas ne font que mieux ressortir encore la supériorité de ce système, pour des fondations descendues à de grandes profondeurs dans des rivières à courant rapide et à régime très variable, charriant des masses considérables de matières, et dont le fond est fréquemment bouleversé à d'énormes profondeurs par les crues et par les débâcles.

Ajoutons qu'en mettant les travaux de fonçage et de bétonnage à l'abri de toutes les causes d'interruption provenant aussi bien des variations de température que des oscillations du niveau des eaux,

ce procédé permet d'abréger considérablement, à l'aide des procédés mécaniques d'excavation dont il favorise l'emploi, la durée des travaux de fondation, qu'on serait autrement forcé de suspendre pendant l'hiver, toujours rigoureux dans la plus grande partie de l'Amérique septentrionale, et pendant une partie du printemps à cause des crues.

Le choix d'un autre procédé pour les piles du pont de Poughkeepsie, fondées dans un fleuve à lit relativement stable et à faibles oscillations de niveau, par des profondeurs d'eau dépassant de cinq mètres environ celles atteintes pour le pont de Saint-Louis, trouve sa justification dans les conditions beaucoup plus favorables du régime de l'Hudson, et dans l'excédant de profondeur des fondations qui aurait notablement aggravé les fatigues et les dangers du travail dans l'air comprimé.

La préférence donnée par les ingénieurs américains aux caissons de grandes dimensions embrassant toute l'étendue d'une pile s'explique par la nécessité de donner aux caissons plus de stabilité et d'assurer la régularité du fonçage, d'autant plus sujette à être troublée par l'inégale résistance du fond et par les changements qui s'y opèrent, que la hauteur des caissons est plus grande.

L'emploi du bois, substitué au fer, a accru notablement les facilités de lançage et de mise en place de ces énormes caissons, en rendant leur construction plus économique et plus favorable à la consolidation de la chambre de travail.

Les bons résultats obtenus au point de vue de l'étanchéité, avec les grands caissons du pont de l'East River au moyen d'un calfatage soigné, montrent d'autre part que la déperdition de l'air peut être évitée avec des caissons en bois convenablement construits.

On peut se demander toutefois si les avantages résultant de l'emploi des caissons en bois ne sont pas plus que compensés par l'inconvénient de faire reposer des constructions aussi importantes sur une matière compressible, susceptible d'être détruite par un incendie pendant les travaux, et sujette à des causes de dépérissement, la pourriture sèche, par exemple, dont un examen très attentif de chaque pièce de bois ne peut parvenir à exclure complètement le danger.

Plus économique en Amérique que le fer, le bois n'aurait point les mêmes raisons de lui être préféré en Europe pour les fondations tubulaires, même pour les caissons de grandes dimensions,

où le fer, qui présente beaucoup plus de garanties sous tous les rapports, a été exclusivement employé jusqu'ici par les ingénieurs les plus compétents en pareille matière[1].

D'autre part, la grande profondeur de fonçage, en rendant plus pénible le travail des ouvriers, a fait rechercher tous les moyens susceptibles de le réduire et de le rendre plus supportable. C'est dans ce but que l'on a généralisé l'emploi de la drague pour l'extraction des déblais, ainsi que celui de l'eau et de l'air comprimés pour la désagrégation et l'ascension des mêmes déblais, et abaissé jusqu'au niveau de la chambre de travail l'écluse à air pour le passage des ouvriers, ce qui offre en outre le double avantage de réduire le volume d'air à comprimer et d'éviter le démontage de l'écluse à air à mesure que le caisson s'enfonce.

Cette nouvelle position de l'écluse à air ne peut d'ailleurs remplir complètement son but, au point de vue de la fatigue épargnée aux ouvriers, qu'à la condition d'y adjoindre des ascenseurs, l'expérience ayant démontré aux ponts de Saint-Louis et de l'East River qu'il était essentiel pour la santé des ouvriers qu'ils eussent le moins possible à se mouvoir en sortant de l'air comprimé.

Les accidents survenus à la fondation de la pile de Brooklyn montrent en outre que l'emploi de la fermeture hydraulique pour les puits d'extraction, et le système de fermeture manœuvré d'en bas pour les puits d'introduction des matériaux, ne sont pas sans danger, et qu'ils nécessitent une surveillance très attentive, dont on s'affranchit complètement, lorsque, comme cela est souvent pratiqué en Europe pour des fonçages de caissons dans des terrains peu résistants et pour de petites superficies de caissons, l'introduction et la sortie des matériaux se font uniquement par une écluse à air et un système de tiroirs placés en haut. Les puissants moyens mécaniques employés en Amérique pour la désagrégation et la montée des déblais, par cela seul qu'ils absorbent une force considérable, ce qui les rend d'un emploi très coûteux, ne paraissent devoir être substitués à la main-d'œuvre que lorsque celle-ci est trop pénible ou trop rare.

Les nouveaux procédés appliqués par les ingénieurs américains

1. On pouvait voir à l'Exposition de 1878 les dessins d'un caisson en tôle de 144 mètres de longueur sur 41 mètres de largeur, soit 59 ares de superficie et 19 mètres de profondeur, projeté pour servir à la fondation par l'air comprimé d'un nouveau bassin de radoub pour le port de Toulon. (Projet de M. Hersent.)

aux fondations tubulaires n'en constituent pas moins des ressources précieuses pour le cas où la grande profondeur et l'étendue des fondations viennent en accroître les difficultés, et il est certain qu'ils ont permis de mener à bonne fin des travaux qui sans leur emploi auraient rencontré les plus grands obstacles.

On trouvera réunis dans le tableau ci-après un certain nombre de renseignements relatifs aux fondations tubulaires de ponts construits en Europe et en Amérique qui permettent de les comparer :

DÉSIGNATION des OUVRAGES.	PROFONDEUR maxima de la fondation sous l'eau.	SUPERFICIE des CAISSONS.	NOMBRE DE JOURS employés AU FONÇAGE.	FONÇAGE PAR JOUR ou par heure.	OBSERVATIONS.
			Ponts américains.		
Pont d'Omaha (Missouri), 1870-1871.	25 mètres.	$5^{m2},30$	15 pour une col. de 20 mèt. de haut^{r}.	$0^{m},30$ par h. à cert. moments.	11 piles formées par 2 colonnes de $2^{m},60$ de diamètre et foncées dans le sable.
Pont de Saint-Louis (Mississipi).	33 mètres.	373^{m2} et 465^{m2}.	De 77 à 133 par pile ou culée.	$0^{m},25$ par jour en moyenne.	2 piles et une culée foncées dans le sable mêlé de débris divers.
Pont d'Atchison (Missouri).	24 mètres.	De 78 mèt. à 116^{m2}.	30 en moyenne par pile.	$0^{m},45$ par jour en moyenne.	Une pile circulaire et 5 piles oblongues, foncées dans le sable. Fort courant.
Pont de Saint-Joseph (Missouri).	15 mètres.	120^{m2}.	De 24 à 31 par pile.	$0^{m},60$ par jour en moyenne.	Id.
Pont sur l'East River, à New-York.	15 mètres à Brooklyn, 24 mètres à New-York.	De 1594^{m2} à 1632 mèt.	150 pour la pile de New-York.	$0^{m},30$ en 16 heures.	
			Ponts européens.		
Pont de Kehl (Rhin), 1859-1860..	20 mètres au-dessous de l'étiage.	Plus petits $122^{m2},50$ Plus grands $163^{m2},45$	277 en totalité. De 55 à 24 par pile.	De $0^{m},33$ à $0^{m},82$ par jour.	4 piles foncées à travers des couches de sable et de galets.
Pont de Bordeaux (Garonne), 1859-1860.	24 mètres au-dessous des basses eaux.	$10^{m2},0$	Un peu plus de 365 en totalité. De 9 à 15 par colonne.	De $0^{m},80$ à $1^{m},32$ par jour.	6 piles formées chacune de 2 colonnes de $3^{m},60$ de diamètre, foncées à travers des couches de sable et de vase.
Pont d'Argenteuil (Seine), 1861-1862.	$18^{m},50$	$10^{m2},0$	288 en totalité.	1 mètre par jour.	4 piles formées chacune de 2 col. de $2^{m},60$ de diamètre, foncées dans le sable.

CHAPITRE VII

SOUTERRAINS

Généralités.

Les souterrains sur les chemins de fer américains sont loin d'avoir l'importance des ponts et des viaducs, et leurs modes d'exécution, à part l'application qui y a été faite sur une large échelle, même pour les tunnels de médiocre longueur, des moyens de perforation mécaniques, diffèrent peu de ceux qui sont pratiqués en Europe.

Les principes déjà relatés qui ont guidé les ingénieurs dans les tracés, surtout au début de l'établissement des chemins de fer, leur ont fait réduire le plus possible le nombre et la longueur des souterrains, pour diminuer les dépenses de premier établissement et accélérer la mise en exploitation des lignes; on peut dire en quelque sorte qu'ils se sont bien plus attachés à les éviter qu'à perfectionner les moyens de les construire.

Même à la traversée des grandes chaînes de montagnes, comme les Alleghanies et les Montagnes-Rocheuses, les ingénieurs ont eu recours aux souterrains, beaucoup moins pour abaisser le niveau des points de passage des lignes de faîte et ramener ainsi les pentes et rampes dans de certaines limites, que pour traverser des contreforts qu'il eût été impossible de contourner avec les courbes du plus court rayon admis. La plupart des souterrains n'ont pas plus de 500 mètres de longueur, et l'on peut regarder comme tout à fait exceptionnels ceux dont la longueur est supérieure à 1500 mètres; il n'existe sur tout le territoire de l'Union que quatre souterrains dont la longueur dépasse 2 kilomètres [1].

Procédés généraux de construction. — Si l'on constate dans ces

---

1. Une liste de 298 tunnels de chemins de fer américains donnée par l'ou-

dernières années une certaine tendance à admettre plus volontiers qu'autrefois les souterrains, soit sur des lignes entièrement nouvelles, soit sur d'anciennes lignes dont ils sont destinés à améliorer les conditions d'exploitation, cette tendance trouve son explication dans les progrès considérables que l'application des procédés mécaniques a fait réaliser dans le percement des souterrains, et qui permettent d'en réduire notablement la durée de construction.

Cette application a d'autant plus d'importance en Amérique, que la plupart des souterrains sont percés dans des roches excessivement dures appartenant aux formations les plus anciennes, trapps, porphyres, gneiss, granites, dont l'extraction, fort lente par les anciens procédés, pouvait retarder longtemps l'ouverture d'une ligne pour peu que les souterrains eussent une certaine longueur. Ces retards ont plus d'une fois déterminé les Compagnies, ainsi que nous l'avons déjà vu au chapitre des tracés, à installer des voies provisoires à fortes pentes et à courbes de très petit rayon, avec lesquelles on a commencé l'exploitation des lignes sans attendre l'achèvement des souterrains.

Percement des galeries. — A de rares exceptions près, sur lesquelles nous nous arrêterons plus loin, les souterrains traversent donc un sol généralement compacte; l'étaiement des galeries d'avancement peut en conséquence se faire d'une manière très simple. On commence ces galeries presque toujours par le haut en les ouvrant sur toute la largeur du souterrain et sur une hauteur de 7 pieds ou $2^{m},15$ environ. Le déblai de la pleine section du tunnel se fait ensuite progressivement par étages formant autant de points d'attaque plus ou moins espacés les uns des autres en procédant de haut en bas. Ce n'est que dans des cas exceptionnels, en cas d'in-

---

vrage de M. H. S. Drinker sur les souterrains permet de les décomposer ainsi qu'il suit :

78	Souterrains d'une longueur	inférieure à 100	mètres.
92	» »	entre 100 et 200	»
46	» »	entre 200 et 300	»
35	» »	entre 300 et 500	»
25	» »	entre 500 et 1000	»
17	» »	entre 1000 et 1500	»
2	» »	entre 1500 et 2000	»
2	» »	entre 2000 et 2200	»
1	» »	supérieure à 2200	»

A cette liste il y aurait lieu d'ajouter le souterrain de Cincinnati, sur le Cincinnati et Dayton R. R., construit en 1853 et d'une longueur de 3050 mètres.

filtrations abondantes, par exemple, qu'on commence les extractions par l'ouverture d'une galerie inférieure pour les étendre ensuite vers le haut, suivant le procédé généralement connu sous le nom de procédé anglais.

D'après un ouvrage très complet publié récemment sur la construction des souterrains par M. H. S. Drinker, auquel nous ferons de nombreux emprunts, l'avancement moyen réalisé par mois, par l'extraction à la poudre dans la roche dure, telle que granite, porphyre, trapp et calcaire compacte, a été dans vingt et un souterrains de 11 mètres pour la galerie d'attaque, et de 14^{m},95 pour l'élargissement complet.

Dans cinquante-huit autres tunnels percés à travers une roche moins résistante : schistes, micaschistes, grès et granites à demi composés, l'avancement a été par mois, pour la galerie d'attaque, de 19^{m},43, et pour l'élargissement complet, de 19^{m},96.

Les extractions ont été faites dans la plupart des cas à la poudre, remplacée partiellement depuis une dizaine d'années par la dynamite.

Puits d'extraction. — Les puits d'extraction sont plus ou moins nombreux suivant la longueur des souterrains et le degré de facilité que présente le creusement des puits. Dans le principe, à l'exemple des ingénieurs anglais, les ingénieurs américains les ont multipliés; ils en sont plus sobres depuis qu'on a perfectionné les procédés d'alignement et d'extraction en galerie. Les puits sont le plus souvent placés dans l'axe même du souterrain, ce qui permet d'en tirer un meilleur parti pour la vérification de cet axe. Il y a d'autant moins d'inconvénient, dans beaucoup de cas, à placer les puits sur l'axe, que, la galerie d'avancement étant habituellement ouverte sur toute la largeur du souterrain, on dispose de part et d'autre de l'orifice du puits d'une place suffisante pour que la circulation des ouvriers et des wagons de service puisse se faire librement.

On peut citer cependant un certain nombre de souterrains où les puits ont été placés latéralement. Cette disposition a été adoptée pour l'un des premiers souterrains exécutés avec puits, celui de Black Rock, de 589 mètres de longueur, construit de 1835 à 1837 sur le Philadelphia et Reading R.R., où les puits, au nombre de six, de 2^{m},13 de diamètre, étaient établis par paires, de part et d'autre de l'axe du tunnel, et touchaient chacun par un de leurs bords l'extrados de la voûte à construire. Cette disposition coûteuse, et qui n'est certes

pas à imiter, avait été adoptée pour faciliter le tracé du souterrain.

Dans quelques souterrains du Cincinnati-Southern, tout nouvellement percés, on trouve aussi des puits latéraux. Au souterrain de Musconetcong, percé de 1872 à 1875, les puits étaient à moitié à cheval sur le souterrain. Cette disposition vicieuse est d'ailleurs rare.

Souterrains sans revêtement. — Pour un assez grand nombre de souterrains percés dans des roches dures et peu sensibles à l'action de l'air, on a pu se dispenser, soit partiellement, soit en totalité, de revêtement. On a alors donné au ciel des souterrains à une voie la forme trapézoïdale ou circulaire, plus rarement elliptique, ainsi que le montrent les coupes fig. 3, 4, 10, 12, pl. XXVIII, se rapportant respectivement aux souterrains du Cincinnati-Southern, de l'Union et Central Pacific, du Western North Carolina, et du Nashville et Decatur R. R. Dans les souterrains à deux voies, on a le plus souvent donné au profil une forme aplatie; il consiste soit dans une ellipse, soit dans une droite raccordée avec les côtés par des quarts de cercle, quelquefois dans un arc de cercle ou un demi-cercle; on a adopté en général la forme de section qui se prêtait le mieux à l'abatage.

Les figures 2, 13 et 18, pl. XXVII, et les fig. 7, 8 et 13, pl. XXVIII, montrent ces diverses formes appliquées aux souterrains de Hoosac, de Musconetcong, de Bergen, à divers souterrains de la ligne du New-York et Hudson River, et aux tunnels de Spruce Creek et de West-Philadelphia, sur le Pennsylvania R.R.

Revêtements en bois. — Le revêtement, dont le plus souvent, même dans les roches dures, on ne peut se passer entièrement à cause des fissures déterminées par les coups de mine, est ce qui constitue le trait le plus original des souterrains américains. Il consiste, sur les lignes d'ouverture récente, en un simple boisage. On peut d'autant mieux s'en contenter dans la plupart des cas, qu'il suffit, jusqu'à un certain point, pour protéger contre l'action de l'air les roches excavées. La pratique des compagnies de chemins de fer est de se contenter de ce système de revêtement jusqu'à ce que les bénéfices de l'exploitation leur permettent de le remplacer par de la maçonnerie. Les énormes difficultés que présenterait le plus souvent le transport des matériaux nécessaires pour l'exécution de la maçonnerie, tant que la voie n'est pas installée, justifient amplement cette disposition économique, qui ne s'applique du reste qu'aux tunnels à

une voie, les plus nombreux et les plus susceptibles de se prêter à ce système de revêtement, en raison de la moindre portée à soutenir.

Les fig. 16 et 19, pl. XXVIII, montrent un des systèmes de boisage employés tout d'abord sur la ligne du Baltimore et Ohio, dont tous les souterrains ont été ultérieurement parementés en maçonnerie. Il consiste en bordages appliqués sur des fermes composées d'un entrait et de deux arbalétriers. Là où la roche ne présentait pas une résistance suffisante pour qu'on pût y appuyer les arbalétriers des naissances, on a eu recours à un revêtement général appliqué sur des fermes de section trapézoïdale, et disposé de manière à se circonscrire à un revêtement ultérieur en maçonnerie. Tel est le revêtement du Pinkerton tunnel sur la même ligne (fig. 17 et 18, pl. XXVIII).

Plusieurs tunnels de la ligne du Cincinnati-Southern, percés dans des terrains de schistes et de grès, n'ayant qu'un faible degré de consistance, sont revêtus d'une manière analogue, en bordages de $0^{m},15$ d'épaisseur s'appuyant sur des fermes espacées de $1^{m},52$ d'axe en axe, ainsi qu'on peut le voir par la fig. 11, pl. XXVIII.

Le revêtement de forme trapézoïdale est toutefois moins répandu que le revêtement en forme de voûte, où le bordage est appliqué sur des fermes constituées par des voussoirs en bois (*block arching*).

Ces voussoirs, réduits au nombre minimum de sept dans certains tunnels, tels que celui de Webster Summit, par exemple, sur l'Albany et Susquehanna R.R. (fig. 15, pl. XXVIII), sont beaucoup plus multipliés dans d'autres tunnels, ainsi qu'on le voit par la fig. 14, pl. XXVIII, qui se rapporte à des souterrains construits sur le Chesapeake et Ohio R.R.

Sur l'Union et le Central Pacific, les bordages du revêtement sont portés par des fermes composées de trois files de bordages, formant des voussoirs juxtaposés à joints croisés, ainsi que le montre la fig. 20, pl. XXVIII.

Ce revêtement remplace, après l'achèvement des déblais, le boisage provisoire consolidé au droit de chaque ferme par un entrait.

Les têtes des souterrains sont simplement formées par le prolongement du revêtement appuyé contre un chevalet rectangulaire et des contre-fiches (fig. 21 et 22, pl. XXVIII.)

On rencontre des dispositions analogues dans le boisage du tunnel tout récent de San Fernando, sur le Southern Pacific R.R. (Cali-

fornie), où les fermes consistent en deux files de bordages séparées par un certain intervalle.

L'espacement des fermes varie en général entre $0^m,45$ et $1^m,50$ suivant l'état de cohésion des terrains traversés; on est habituellement allé jusqu'à la distance de $1^m,50$ dans les terrains schisteux.

Le cube de bois employé par mètre courant dans les souterrains à une voie, traversant ces derniers terrains, varie de $2^{m^3},50$ à $2^{m^3},80$. Pour divers souterrains du Cincinnati-Southern, le prix du revêtement en bois a varié entre 200 et 600 francs par mètre courant.

Essence des bois employés aux revêtements. — Dans les États du Sud, on emploie de préférence pour les boisages les bois résineux, *pitch pine* et *yellow pine*, ou bien le chêne rouvre et le chêne blanc; en Californie, on se sert exclusivement du *red wood* (séquoïa).

D'après le général St. John, ingénieur en chef du Chesapeake et Ohio R.R., la durée moyenne d'un revêtement en bon bois (chêne blanc) serait de 8 ans; cette durée s'abaisserait à trois ans dans les souterrains humides et mal ventilés.

Le revêtement en bois, bien qu'on puisse citer des souterrains où il a déjà été remplacé plusieurs fois, n'est jamais considéré que comme répondant à une situation provisoire qui doit cesser dans un délai plus ou moins long. Les souterrains des grandes lignes déjà anciennes qui traversent les Alleghanies, comme le Baltimore et Ohio, et le Pennsylvania, ont fini par être tous revêtus en briques ou en moellons partout où un revêtement a été reconnu nécessaire, et il n'a pas été appliqué d'autre mode de revêtement aux souterrains établis dès le principe pour deux voies.

Revêtements en maçonnerie. — L'épaisseur et la forme du revêtement en maçonnerie varient naturellement avec la nature des terrains traversés.

La fig. 9, pl. XXVIII, donne la coupe de l'Alleghany tunnel sur le Pennsylvania R.R., où l'on a employé concurremment les moellons [illegible]que.

Les figures 11, 12 et 14, pl. XXVII, se rapportent à des revêtements [illegible]ent dits exécutés dans le grand tunnel de Hoosac, dont il sera question plus loin, pour protéger les roches traversées contre l'action de l'air. Dans certaines parties de ce souterrain, où l'on avait à craindre la chute de blocs isolés, pour éviter d'avoir à effectuer un garnissage continu derrière l'extrados, on a exécuté des contreforts de distance en distance; dans d'autres parties traversant des

terrains sans consistance, et exerçant des pressions latérales, les piédroits de la voûte ont été reliés par un radier en voûte renversée ayant une épaisseur de 0m,80 comme la voûte supérieure et les piédroits.

D'autres souterrains ont donné lieu à l'adoption de types de revêtement différents. La fig. 3, pl. XXVII, montre celui auquel on a eu recours pour le souterrain de Musconetcong (New-Jersey), où l'inégalité des abatages laissait subsister des vides considérables au-dessus des voûtes, et où l'on a dû abandonner une partie du boisage. Dans les souterrains construits en grande partie en tranchée sous la ville de Baltimore pour relier plusieurs gares de chemins de fer, on a construit soit des voûtes elliptiques avec piédroits à fruit très accentué, là où l'on manquait de hauteur, soit des voûtes en arc de cercle, se prolongeant au delà du diamètre des naissances, ainsi que l'indiquent les fig. 5 et 6, pl. XXVIII. On retrouve également la forme elliptique dans le nouveau souterrain de Bergen, sur le Delaware, Lackawanna et Western R.R., où l'on s'est contenté d'appliquer un simple revêtement contre la roche dioritique.

Prix des revêtements en maçonnerie. — Le prix élevé des revêtements en briques, qui sur plusieurs lignes atteint 1600 et 1800 francs le mètre courant et n'est guère descendu au-dessous de 1000 francs, explique comment il en est exécuté si peu sur les lignes qui ne sont qu'à leur début et dont la prospérité financière n'est pas encore assurée.

Exécution des revêtements en maçonnerie. — Nous avons déjà dit que l'extraction des déblais dans les galeries était habituellement commencée par le haut et poursuivie jusqu'à la complète mise à fond du souterrain, qui est effectuée à l'abri d'un boisage, susceptible d'être maintenu en place pendant un temps plus ou moins long.

Pour ce qui est de l'exécution du revêtement en maçonnerie, on ne connaît pas d'exemple de l'application de la méthode belge, où la construction de la voûte précède, comme on le sait, celle des piédroits, ce qui s'explique moins par une répugnance quelconque à se servir de cette méthode, dont les ingénieurs américains ne méconnaissent pas les avantages, que par l'habitude qu'ils ont de commencer par poser un boisage très solide, pouvant faire pendant plusieurs années office de voûte, et par le fait que les terrains sont généralement assez compactes pour permettre d'ouvrir immédiatement les souterrains sur toute leur section, et d'imprimer ainsi à

l'exécution des maçonneries comme à celle des déblais beaucoup plus d'activité que n'en comporterait l'emploi de la méthode belge.

Largeur et hauteur libres des souterrains. — La largeur et la hauteur libres dans les souterrains varient d'une ligne à l'autre, et souvent sur la même ligne. Les souterrains anciennement construits sont plus étroits et moins hauts que les nouveaux, la largeur beaucoup plus grande des wagons à voyageurs actuels, dont quelques-uns n'ont pas moins de $3^m,05$ extérieurement, et la plus grande hauteur des machines, qui atteint aujourd'hui $4^m,50$, ayant conduit à accroître leurs dimensions; en outre, un excédant de largeur a été donné aux souterrains courbes, dont le rayon descend parfois jusqu'à 175 mètres.

1° *Souterrains à une voie.*— La largeur des souterrains à une voie varie généralement entre $4^m,28$ et $5^m,18$; sur un grand nombre de lignes importantes de construction déjà ancienne à voies de $1^m,44$ et $1^m,45$, comme le Pennsylvania R.R. et le Baltimore et Ohio R.R., on rencontre une largeur de $4^m,55$ à $4^m,58$. Quelques souterrains seulement, situés sur l'embranchement de Wheeling, faisant partie du Baltimore et Ohio R.R., ont une largeur de $5^m,18$.

Le Cincinnati-Southern R.R., construit avec la voie de 5 pieds ($1^m,52$), a adopté la largeur de $4^m,72$. L'Union et le Central Pacific, pour toutes les parties de souterrains maçonnées ou destinées à être maintenues sans revêtement, ont adopté la largeur de $4^m,88$, et sur les mêmes lignes on a porté cette largeur à $5^m,80$ dans les parties revêtues en bois, pour permettre l'exécution ultérieure des voûtes à l'intérieur. Le Southern Pacific en Californie s'est arrêté à la largeur de $4^m,88$ en ligne droite, et de $5^m,18$ en courbes de rayon variant entre 250 mètres et 175 mètres.

La hauteur libre des souterrains à une voie varie entre $4^m,73$ et $6^m,43$; elle est de $5^m,75$ à $5^m,79$ sur l'Union Pacific, sur le Baltimore et Ohio, le Chicago et North Western, et le Cincinnati Southern. Le Chesapeake et Ohio a adopté la hauteur de $6^m,43$ dans les parties revêtues en bois en vue de l'établissement d'une voûte en briques.

2° *Souterrains à deux voies.* — Pour les souterrains à deux voies, on a restreint tout d'abord la largeur à $5^m,93$ et à $6^m,71$ sur certaines lignes comme le Philadelphia et Reading, l'Hudson River et le Baltimore et Ohio R.R.; mais on a dû élargir plus tard tous les anciens souterrains dont les largeurs varient aujourd'hui sur ces trois lignes entre $7^m,33$ et $7^m,94$. La largeur libre la plus générale

est aujourd'hui, pour 2 voies, de 26 pieds (7^{m},94). Sur l'Érié, qui a la voie de 1^{m},83, le souterrain de Bergen a une largeur de 8^{m},54.

Quant à la hauteur, elle varie entre 5^{m},18, hauteur des souterrains du New-York Central et Hudson River R.R., et 6^{m},71, qui est celle des souterrains du Baltimore et Ohio R.R. Le plus souvent, elle s'écarte peu de 6 mètres. Le souterrain le plus long, celui de Hoosac, qui a 7645 mètres, a été établi avec une largeur variant de 7^{m},32 à 7^{m},94 et une hauteur de 5^{m},64 à 6^{m},40, suivant qu'il s'agit des parties sans ou avec revêtement. C'est moins en vue de l'établissement d'une double voie dont on ne prévoit pas la nécessité de longtemps que pour la facilité de la ventilation, à laquelle concourt d'ailleurs puissamment un puits central de 314 mètres de profondeur, que ces dimensions ont été données au souterrain de Hoosac. On a toutefois constaté que l'action des courants d'air pour l'expulsion de la fumée cessait au droit de ce puits, en sorte que les trains venant du même côté que le vent restent enveloppés de fumée à partir du moment où ils ont dépassé le puits.

Rampes dans les souterrains. — Les ingénieurs américains ne paraissent pas s'être préoccupés d'adoucir les rampes sur le parcours des tunnels, comme le font les ingénieurs européens; la faible longueur de la plupart des souterrains rend cet adoucissement moins utile. Dans le grand souterrain du Hoosac, où il existe des pentes de 0^{m},005 en sens contraires, à partir du centre du souterrain, ces pentes ont eu pour principal objet d'en faciliter l'assèchement pendant la construction.

Nous complèterons l'exposé sommaire que nous venons de faire des procédés généraux de construction des tunnels américains par quelques exemples pris sur les principales lignes de chemins de fer, qui offrent un intérêt particulier à cause de certaines difficultés spéciales d'exécution.

PREMIERS SOUTERRAINS CONSTRUITS.

Avant l'établissement des chemins de fer, il avait été déjà construit en Amérique quelques souterrains pour des canaux. Le premier de ces souterrains, percé de 1818 à 1821 sur une longueur de 137 mètres, et faisant partie d'un canal établi pour l'amélioration du Schuylkill près d'Auburn (Pennsylvanie), a aujourd'hui disparu,

par suite de la conversion du tunnel en tranchée, exécutée de 1855 à 1856.

Trois tunnels pour canaux avaient été déjà exécutés, quand fut établi, de 1831 à 1833, le premier souterrain pour chemin de fer sur la ligne aujourd'hui abandonnée de l'Alleghany Portage R.R. en Pennsylvanie, qui devait relier à travers les Alleghanies les tronçons inachevés des deux divisions centrale et occidentale du canal de Pennsylvanie. Ce tunnel, de 275 mètres de longueur, ouvert pour deux voies avec une largeur de 7^{m},12 et une hauteur de 6^{m},40 dans une roche schisteuse, était voûté seulement sur 45 mètres à chaque extrémité.

La Compagnie du Philadelphia et Reading R.R. a inauguré ensuite de 1835 à 1837 le percement des souterrains avec puits d'extraction en construisant le Black Rock tunnel que nous avons déjà eu l'occasion de mentionner. La construction des souterrains a pris ensuite une certaine extension, à mesure que s'avançaient à travers la chaîne des Alleghanies les grandes lignes dirigées de l'Est vers l'Ouest: le Baltimore et Ohio, le Pennsylvania Central, le Hudson River et le Chesapeake et Ohio R.R.

Souterrains du Baltimore et Ohio R.R.

Cette ligne, sur un parcours total de 958 kilomètres embrassant les embranchements de Parkersburg, Wheeling et Chicago, comprend quarante-sept souterrains, dont onze sur la ligne principale entre Baltimore et Grafton. Le plus long, celui de Kingwood, ouvert dans les schistes, a 1250 mètres, et il est en pente de 0,01. D'autres souterrains plus courts ont la pente maxima de la ligne, 0,022.

Les souterrains sont établis pour deux voies et généralement maçonnés en briques sur 0^{m},45 d'épaisseur sur la ligne principale, où ils traversent des schistes, des grès ou des argiles se décomposant facilement.

Dans le souterrain de Kingwood, pour se garantir au moment de l'exécution de la voûte contre la chute des blocs qui tendaient à se détacher du ciel, on a eu recours à un système de cintres en fonte supportant un revêtement du même métal, longs de 0^{m},91 et se décomposant en deux parties demi-circulaires, qui étaient portées sur des wagons et dont les pieds pouvaient se fixer sur les piédroits préalablement exécutés. Ces cintres ont servi à étayer provisoire-

ment le ciel et à exécuter en moellons la voûte, qui a été soigneusement garnie de maçonnerie à l'extrados.

Les souterrains de cette ligne ont coûté depuis 860 francs jusqu'à 3000 francs le mètre courant pour deux voies, le prix de 860 francs se rapportant à quelques souterrains non maçonnés; tous les souterrains pour deux voies qui avaient été construits avec une largeur libre de $6^{m},71$ ont été ultérieurement agrandis et aucun n'a aujourd'hui moins de 24 pieds ($7^{m},33$), ainsi que nous l'avons indiqué plus haut.

Souterrains de l'Érié R.R. et du Delaware, Lackawanna et Western R.R.

Le seul souterrain du chemin de fer de l'Érié est le Bergen tunnel que l'on rencontre presque immédiatement à la sortie de Jersey City. L'exécution de ce souterrain, long de 1337 mètres, percé entièrement dans un trapp très dur, à l'aide de neuf puits de 23 à 27 mètres de profondeur, à une époque où le percement des trous de mine se faisait seulement à la main, a demandé six ans, de 1855 à 1861 ; il n'est maçonné que sur 298 mètres, et il a coûté 3075 francs par mètre courant.

Jusqu'en l'année 1877, ce souterrain, appartenant à l'Érié R.R., était emprunté par les trains du Delaware, Lackawanna et Western R.R. Cette Compagnie s'est décidée en 1874 à construire un souterrain spécial pour son service. Ce nouveau souterrain, de 1305 mètres de longueur, situé à peu de distance du précédent, a été percé à la fois par les têtes et au moyen de quatre puits.

Les travaux, commencés en septembre 1873, ont rencontré de sérieuses difficultés occasionnées par des infiltrations. Le percement du souterrain a été achevé en 1876 ; ce n'est toutefois qu'en 1877 qu'il a été livré à l'exploitation.

Ce tunnel, qui est revêtu en briques sur les deux tiers de sa longueur, présente une largeur libre de $8^{m},23$. On a laissé subsister au milieu un puits surmonté d'une cheminée pour la ventilation. La fig. 19, pl. XXVII, donne les dispositions adoptées pour le cintrage du revêtement[1].

1. Pour le revêtement en briques du premier tunnel de Bergen sur l'Érié R.R., on s'était servi de cintres en fer analogues aux fermes qui avaient été employées au tunnel de Kingwood.

Les déblais à la mine pour l'élargissement des galeries ont été effectués à l'aide de la perforatrice Ingersoll; les trous de mine pour la galerie d'avancement ont été percés à la main; on s'est servi pour les extractions, non de la dynamite ordinaire, mais du mélange explosif désigné sous le nom de *rend rock* (brise-roche). Les déblais y ont été payés 50 francs le mètre cube.

Souterrains du Chesapeake et Ohio R.R.

Cette ligne comprend, ainsi que nous l'avons vu plus haut, un nombre total de vingt-six souterrains ayant ensemble une longueur de 11 kilomètres, dont le plus long, celui de Great Bend, situé à 423 kilomètres de Richmond, a 1966 mètres.

Ces souterrains, établis pour une voie, ont été construits à diverses époques, les uns de 1849 à 1853, les autres, sous la direction de M. Charles Ellet, de 1853 à 1857, d'autres enfin de 1865 à 1873. Ils sont percés dans des schistes, des grès et des calcaires carbonifères; une très faible longueur a été maçonnée; plusieurs sont encore simplement revêtus en bois. Un certain nombre ont été construits dans des circonstances qui méritent d'être signalées.

Un de ces tunnels, celui de Blue Ridge, de 1300 mètres de longueur et en pente de $0^{m},013$, a été percé dans les schistes et le trapp sans puits intermédiaires; la galerie d'attaque opposée à la pente était asséchée au moyen d'un siphon de 600 mètres de longueur; le renouvellement de l'air était obtenu par un système particulier de pompes.

Pour le petit souterrain de Redhill, de 176 mètres de longueur, percé en 1861 dans des grès siliceux traversés par des veines d'argile, dont les galeries d'attaque, abandonnées pendant plusieurs années, avaient fini par s'effondrer, on a ouvert, lors de la reprise des travaux en 1865, deux nouvelles galeries que l'on a commencées au niveau et à l'aplomb des naissances de la voûte, et que l'on a mises à fond pour pouvoir élever les piédroits en maçonnerie à l'intérieur; après quoi la voûte a été exécutée par parties en déblayant progressivement les éboulis entre les piédroits.

Le souterrain de Churchhill, de 1197 mètres de longueur, percé dans les argiles miocènes pour prolonger la ligne jusqu'à la rivière de James, en passant sous les docks de Richmond, a également pré-

senté des difficultés sérieuses, bien qu'une partie ait été exécutée à ciel ouvert dans une tranchée de 9 mètres de profondeur.

Dans la partie souterraine proprement dite, on a procédé comme pour le souterrain de Redhill; on a seulement ajouté, dans une partie effondrée, aux deux galeries des naissances, deux galeries d'assèchement au niveau de la base des piédroits, et une galerie percée au niveau du sommet de la voûte. Ces cinq galeries longitudinales, réunies par des galeries transversales épousant la forme de la voûte, ont servi à exécuter celle-ci en commençant par les piédroits, après boisage préalable en forme de voussoirs. Le straus n'a été enlevé qu'à la fin.

Nous avons déjà vu plus haut l'usage qui a été fait du revêtement en bois pour la plupart des souterrains de la ligne de Chesapeake et Ohio, traversant des terrains de roche où il est généralement suffisant.

Les souterrains de cette ligne ont les dimensions suivantes :

	LARGEUR LIBRE.	HAUTEUR LIBRE.
Pour deux voies	7m,83	5m,90 à 6m,00
Pour une voie....................	4m,58 à 4m,88	5m,18 à 6m,43

Pour un certain nombre de ces tunnels à simple voie revêtus en bois, le prix de construction a varié de 1673 à 2395 francs par mètre courant.

Tunnels de la ligne du Pacifique.

Les tunnels établis de 1866 à 1869 sur la ligne du Pacifique servent en général à traverser des contreforts trop saillants.

Construits provisoirement pour une seule voie, ils sont percés dans le granite, et, bien que le plus long ne dépasse pas 505 mètres, ils ont présenté, surtout sur le Central Pacific où ils sont le plus nombreux, des difficultés particulières d'exécution en raison de leur altitude[1] (ils sont généralement élevés à plus de 2000 mètres au-

1. Il existe maintenant un tunnel plus élevé que ceux de la ligne du Pacifique : c'est

dessus du niveau de la mer), de la violence des ouragans de neige qui sévissent fréquemment sur les cimes des montagnes, et de l'escarpement des rochers qu'ils traversent. Pendant une grande partie de l'année, les abords de ces souterrains sont couverts de neige, et il a fallu plus d'une fois, pour commencer les galeries d'attaque et en maintenir libres les accès, ouvrir non seulement des tranchées, mais même des souterrains dans la neige.

Les ouragans et les avalanches ont à diverses reprises détruit les installations servant au logement des ouvriers et enseveli ceux-ci sous leurs débris.

Pendant l'hiver de 1866 à 1867, on a compté jusqu'à quarante-quatre tempêtes de neige à la suite desquelles l'épaisseur des bancs de neige a atteint parfois jusqu'à 4 mètres; l'une de ces tempêtes a duré vingt-trois jours.

La plupart de ces tunnels sont en courbe; il y en a dont le rayon s'abaisse jusqu'à 175 mètres. Pour l'exécution du plus long, celui de Summit, ayant 506 mètres de longueur, et situé à 120 mètres du faîte de la Sierra Nevada, il a été percé au centre un puits de 23 mètres de profondeur en quatre-vingt-cinq jours. Malgré ce puits, l'achèvement du tunnel n'a pas demandé moins de trois ans, de 1866 à 1869.

Les travaux d'extraction ont été exécutés presque entièrement par des Chinois; il y en a eu, pendant cette période de travaux, de 6000 à 9000 sur la ligne. Il n'a été effectué dans tous les tunnels que des revêtements en bois, dont le profil type a été précédemment décrit.

Tunnels du Cincinnati-Southern R.R.

La construction du Cincinnati-Southern R.R. a entraîné le percement de 27 souterrains dont la longueur varie de 58 mètres à 1220 mètres (longueur du King's Mountain tunnel), à travers la roche calcaire, les schistes et les grès houillers; la roche est désagrégée seulement sur quelques points.

Plusieurs de ces souterrains sont établis en courbe et en pente de $0^{m},0113$. Le rayon des courbes n'est pas inférieur à 291 mètres.

---

le tunnel d'Oroya (Pérou), situé à 4770 mètres au-dessus du niveau de la mer, et de 1173 mètres de longueur. A cause de la raréfaction de l'air, on n'a pu y employer que des ouvriers d'une constitution exceptionnellement robuste; les ouvriers chinois ne pouvaient pas y résister.

Il en est un assez grand nombre où l'on a pu se passer de revêtement; dans les autres, on s'est contenté d'un revêtement en bois. Celui de King's Mountain a été percé avec trois puits de 36 mètres de profondeur maxima.

Le prix de ces souterrains, construits pour une seule voie, conformément aux types reproduits fig. 10 et 11, pl. XXVIII, ressort par mètre courant de 451 à 1522 francs.

Un fait curieux, signalé aussi dans le percement du Sutro tunnel (Nevada) dont il sera question plus loin, s'est produit dans celui de plusieurs souterrains du Cincinnati-Southern : c'est le soulèvement du plafond du tunnel, bien que constitué par des bancs de roche compacte. Ce fait est attribué, par le géologue M. Sterry Hunt, à un état de tension préexistant dans la masse.

Souterrain de Nesquehoning (Lehigh et Susquehanna R.R.).

Le souterrain de Nesquehoning, établi de 1870 à 1872 par la Lehigh Coal and Navigation Company, se distingue à la fois des précédents par l'objet en vue duquel il a été construit, et par l'application en grand des nouveaux procédés mécaniques d'extraction qui y a été faite. Cette Compagnie possède dans la vallée de Panther Creek une vaste étendue de mines de charbon, pour l'exploitation desquelles elle a installé le système des plans inclinés avec voies de rebroussement du Mauch-Chunk, célèbre depuis longtemps par les dispositions ingénieuses qui permettent d'utiliser le poids des wagons pour leur faire franchir une partie de l'intervalle séparant les mines du réseau des voies navigables et ferrées qui en transportent les produits aux ports de l'Atlantique. Une machine fixe sert à élever les trains jusqu'au sommet d'une montagne d'où ils redescendent ensuite vers la vallée du Lehigh.

Pour remédier à l'insuffisance reconnue de cette installation, la Compagnie s'est décidée à percer, à travers le Locust Mountain, un souterrain de 1160 mètres de longueur, qui évite la remonte en passant à 164^{m},7 au-dessous du sommet de la montagne, pour déboucher à 4^{m},50 au-dessus du niveau des eaux du Lehigh.

Ce souterrain traverse d'abord, sur 300 mètres, des bancs de grès renfermant des couches de houille inclinées à 45°; puis des conglomérats et des schistes rouges, et vers son extrémité, sur 90 mètres, des débris de roches décomposées.

On a utilisé pour son percement une ancienne galerie de mines de 360 mètres de longueur, partant de la tête sud, ainsi qu'un puits servant à ventiler cette galerie, et plongeant suivant l'inclinaison des stratifications, que l'on a élargi pour l'extraction des déblais (fig. 5, pl. XXVII).

Construit dans la roche compacte pour une seule voie, le souterrain du Nesquehoning a été établi immédiatement pour deux voies dans les autres parties, pour éviter la gêne que la reprise de la voûte causerait en cas d'élargissement, et pour assurer une meilleure ventilation.

Pour les extractions dans la roche compacte, les trous de mine ont été forés, soit à la main, soit avec des perforatrices Burleigh actionnées par l'air comprimé; il y avait deux compresseurs à air et seize perforatrices, dont la moitié était habituellement tenue en réserve. L'air comprimé était amené par un tube en fer de $0^m,15$ de diamètre jusqu'à une distance de 1140 mètres, à une pression de 7 atmosphères, qui subissait en route une perte de 10 pour 100 environ; une faible congélation se produisait à l'échappement dans les cylindres des perforatrices.

Le percement de la roche dure s'est fait à raison de 32 mètres d'avancement par mois. On a compté qu'il fallait $2^m,60$ de longueur de trous de mine, en moyenne, pour extraire un mètre cube de déblai, et que le coût d'extraction du mètre cube était : avec les perforatrices, de $4^{fr},91$, et avec le forage à la main, de $19^{fr},35$; le trou de mine de $0^m,037$ de diamètre revenait le mètre courant : à la machine, à $2^{fr},31$, et à la main, à $9^{fr},24$. Le poids de poudre dépensé par mètre cube a été de $1^k,91$.

Le percement de la galerie d'attaque partant de la tête nord a été très difficile à cause de la présence de l'eau, convertissant la roche décomposée en une masse semi-fluide, où l'on n'a pu avancer qu'à l'abri d'un bouclier rappelant par ses dispositions le bouclier employé par les ingénieurs anglais sous la Tamise.

Le revêtement, exécuté en briques, a demandé six mois et un tiers; il a marché à raison de 16 mètres par mois. L'exécution complète du souterrain a demandé trente mois; le percement de la galerie sud jusqu'à la rencontre de la galerie nord, dix-huit mois et demi.

Souterrain du Musconetcong (Easton et Amboy R.R.).

La ligne sur laquelle est situé ce tunnel, percé sous la direction de MM. Sayre et Drinker, prolonge jusqu'à la mer le chemin de fer du Lehigh Valley à partir de la station d'Easton. Avant sa construction, le chemin de fer ne dépassant pas cette ville, marchandises et voyageurs étaient transportés à partir de la station terminale par d'autres lignes, soit vers New-York, soit vers Philadelphie.

Depuis la construction du souterrain de Musconetcong, les transports de la ligne du Lehigh Valley, qui reçoit une énorme quantité de charbons, se font directement jusqu'au port de Perth-Amboy.

Le tracé de la ligne traverse en plein la montagne du Musconetcong, dont le sommet s'élève à 275 mètres au-dessus du niveau de la mer et à 142 mètres au-dessus du niveau de la voie. Celle-ci présente deux pentes opposées à partir du milieu du souterrain; la plus forte de ces pentes ne dépasse pas $0^{m},003$.

Sur une longueur totale de 1472 mètres (fig. 1, pl. XXVII), le souterrain traverse, à partir de sa tête occidentale, d'abord des argiles, puis des calcaires et une roche syénitique présentant une surface mamelonnée, dont les premières couches sont dans un état de décomposition plus ou moins avancée, et qui, à une certaine distance de la tête, finit par devenir extrêmement dure. Cette syénite se présente avec des stratifications bien accusées, plongeant vers l'Est avec une inclinaison d'environ 60 degrés.

Du côté de l'Ouest, le souterrain est précédé par une tranchée de 800 mètres de longueur, dont la profondeur dépasse 22 mètres; cette tranchée est ouverte dans des couches d'argile surmontant des bancs calcaires. Pour devancer le moment où l'approfondissement de cette tranchée permettrait d'attaquer le percement du souterrain par la tête ouest, on a ouvert tout d'abord un puits ayant l'inclinaison des stratifications, et pénétrant à 250 mètres de cette tête dans la roche calcaire.

A l'aide de ce puits, on put commencer deux galeries d'attaque en se servant d'abord de la barre à mine, puis des perforatrices, et on avança pendant un certain temps à raison de 29 mètres par mois; mais les galeries n'ayant pas tardé à être envahies par l'eau, en rencontrant la surface de contact de la roche calcaire avec l'ar-

gile, on fut obligé de les abandonner. Après avoir fait baisser avec beaucoup de peine l'eau dans les galeries et percé deux nouveaux puits vers l'ouest, dont un au delà de la tête du souterrain, dans le but de faciliter à la fois les épuisements et la multiplication des points d'attaque, on parvint, à l'aide du système de boisage représenté par la fig. 4, pl. XXVII, à pousser jusqu'à leur rencontre les portions de souterrain amorcées à l'aide des nouveaux puits. On ouvrit d'abord une galerie supérieure d'avancement, puis une galerie inférieure d'assèchement, et on exécuta ensuite le revêtement représenté par la fig. 3, pl. XXVII.

Le percement à l'Est du puits incliné, sur 699 mètres de longueur dans la roche syénitique, gêné aussi d'abord par les eaux et par le défaut de consistance de la roche, finit par s'organiser dans des conditions qui permirent de le pousser avec une grande activité, grâce à l'emploi des perforatrices mécaniques.

Le matériel se composait pour cette tête d'attaque de quatre compresseurs Burleigh, actionnant ensemble neuf perforatrices du système Ingersoll, où l'air comprimé était amené jusqu'à une distance de 900 mètres à une pression de cinq à six atmosphères.

Les perforatrices étaient montées sur deux chariots circulant sur deux voies placées symétriquement par rapport à l'axe du souterrain (fig. 16 et 17, pl. XXVII).

Après chaque série de coups de mine, tous les ouvriers réunis remplissaient rapidement des produits de l'explosion les wagons amenés sur une voie centrale. La largeur totale de la galerie étant de $7^{m},92$ laissait pour ces manœuvres la place nécessaire.

Le travail de la mine commençait par la partie centrale du front d'attaque ; il était conduit de manière à détacher d'abord un noyau central en forme de coin et à élargir ensuite progressivement l'excavation de chaque côté. A cet effet, sur le front d'attaque représenté par la figure 16, planche XXVII, occupant une hauteur de $2^{m},30$ à $2^{m},40$ au-dessous du ciel du souterrain, on forait d'abord à une distance de $1^{m},35$ de l'axe douze trous placés six à six sur les mêmes verticales et convergents, de $3^{m},16$ de profondeur et de $0^{m},04$ à $0^{m},07$ de diamètre, que l'on chargeait avec 11 et 22 kilogrammes de dynamite de première et de deuxième qualité. Le premier abatage obtenu, on faisait une série d'abatages latéraux au moyen de trous de mines disposés trois à trois sur la même verticale, divergents horizontalement, et plus profonds que les premiers, que l'on chargeait

avec de la dynamite de deuxième qualité. Le tableau suivant indique la distribution des trous et des charges par abatage :

	NOMBRE de TROUS.	PROFONDEUR de CHAQUE TROU.	PROFONDEUR TOTALE.	CHARGES DE DYNAMITE. n° 1.	CHARGES DE DYNAMITE. n° 2.
		m.	m.		
1er abatage	12	3,20	38,40	11 k	22 k
2e —	8	3,66	29,28		
3e —	8	3,66	29,28		
4e —	6	3,66	29,28		
Trous additionnels	2	{ 3,20 / 2,44 }	5,49		

La première explosion produisait généralement un abatage de 2m,75 de profondeur, qui, par la longueur des trous de mine subséquents, était porté à 3m,20 environ.

Le mètre cube d'abatage exigeait 0k,25 de dynamite de première qualité, 2k,50 de dynamite de deuxième qualité, et 2m,50 de longueur de forage de trous.

Les quatre abatages demandaient généralement quatre périodes de huit heures chacune, qui occupaient simultanément douze mécaniciens et aides-mécaniciens (un mécanicien et son aide par machine), six manœuvres pour le chargement des trous, un contremaître et un coureur pour la réparation des outils.

Après avoir ainsi excavé le sommet du tunnel sur 2m,40 de hauteur et 7m,90 de largeur, on commençait l'approfondissement à 120 mètres ou 180 mètres en arrière, pour éviter les interruptions et avoir la place nécessaire pour la manœuvre des wagons enlevant les déblais; un pont mobile représenté fig. 15, pl. XXVII, servait à racheter la différence de niveau des deux chantiers d'attaque.

L'approfondissement se faisait par tranches parallèles au front d'attaque inférieur au moyen de six trous de mine au sommet et de quatre en bas, dont le tableau ci-après donne la disposition générale et les charges.

On employait ainsi, par mètre cube de roche déblayée, 0k,65 de dynamite n° 2, et 0m,43 de longueur de trous de 0,04 à 0,06 de diamètre.

	NOMBRE de TROUS.	PROFONDEUR		CHARGES DE DYNAMITE n° 2.
		de CHAQUE TROU.	TOTALE.	
Trous du sommet..	6	$3^m,66$	$21^m,96$	28^k
Trous de la base....... ..	4	$3^m,05$	$12^m,20$	20^k
			$34^m,16$	48^k

Ce que nous venons de dire s'applique à la galerie ouverte à l'est du puits incliné. A la tête [illegible] du souterrain, on a, après avoir franchi une longueur de 18 mètres de roche décomposée, attaqué la roche solide par les mêmes procédés qu'à partir du puits, en forant les trous de mine d'abord à la main, puis à la machine Ingersoll. L'avancement, après avoir été d'abord de 27 mètres par mois de ce côté en 1873, a dépassé 35 mètres en 1874.

Pour le percement complet, il a été en totalité extrait 62 860 mètres cubes de roche qui ont demandé en moyenne, par mètre cube, $0^k,20$ de dynamite n° 1, et un kilogramme de dynamite n° 2. L'avancement moyen total a été de $1^m,16$ par jour.

L'exécution du souterrain a demandé en totalité vingt-sept mois, de 1872 à 1875. Sur ces deux années et un quart, on peut en compter une entière perdue par suite des interruptions causées par l'invasion de l'eau dans les fouilles. Il est probable que le retard n'eût pas été beaucoup plus considérable, si l'on avait attendu que l'ouverture de la tranchée de l'Ouest vînt permettre l'assèchement naturel de la galerie. Si l'on avait tenu à gagner du temps quand même, il eût suffi vraisemblablement de commencer cette galerie d'assèchement à l'origine même de la tranchée, ainsi qu'on l'a fait pour plusieurs souterrains percés en Allemagne.

Quant aux procédés d'extraction à la mine, leur appréciation trouvera mieux sa place à la fin de ce chapitre.

Tunnel de Hoosac sur le Troy et Greenfield R.R.

Le tunnel de Hoosac sur le Troy et Greenfield R.R. est le plus long tunnel des États-Unis ; sa longueur, de 7645 mètres, est supérieure à celle de tous les souterrains européens, les grands tunnels

du Mont-Cenis et du Saint-Gothard exceptés. Achevé seulement en 1876, il a été projeté dès l'année 1848, pour ouvrir entre le port de Boston et la haute vallée de l'Hudson, déjà reliés par un chemin de fer ouvert en l'année 1842 entre Boston et Albany, des communications plus favorables à l'économie des transports et au développement du commerce du port de Boston [1].

Nous avons déjà vu que que le chemin de fer de Boston à Albany *présentant entre les vallées de* l'Hudson *et du Connecticut* des rampes assez fortes (de $0^{m},014$ à $0^{m},015$), il y avait un certain intérêt, eu égard à l'importance de ces communications à établir dans la même direction une autre ligne à faibles déclivités permettant de réaliser une diminution notable sur les prix de transport, et comportant une plus grande puissance de trafic.

Le tracé de cette nouvelle ligne, située au nord de la première, ne rencontre pas de difficultés entre Boston et la vallée du Connecticut; mais pour passer ensuite dans la vallée de l'Hudson, elle à traverser la chaîne du Hoosac qui sépare la vallée du Deerfield, affluent du Connecticut, de celle du Hoosic River qui se jette dans l'Hudson, près de Troy.

Cette montagne dont le profil en long et le plan sont donnés fig. 6 et 7, pl. XXVII, présente successivement deux faîtes élevés, l'un de 765 mètres, l'autre de 674 mètres au-dessus du niveau de la mer, et séparés par une dépression d'une profondeur moyenne de 210 mètres.

Toute la masse est constituée par des micaschistes et des gneiss traversés sur certains points par des veines de quartz. Les stratifications ont cela de particulier qu'elles plongent dans des sens opposés à partir de la dépression centrale. Sur le versant Ouest, la roche est décomposée et sans consistance sur une assez grande profondeur.

Le souterrain qui passe à $521^{m},50$ au-dessous du premier faîte et à $431^{m},50$ au-dessous du second, forme un seul alignement droit intercalé entre deux courbes en sens opposés. Nous avons eu occasion de faire connaître son profil en long, et sa section, qui présente une largeur et une hauteur variable; une rigole centrale, converte de $0^{m},60$ de profondeur, assure l'asséchement de la plate-forme.

---

1. Déjà en 1825, il avait été question de percer la montagne du Hoosac, pour le passage d'un canal destiné à prolonger vers Boston, le canal Érié.

verte, de $0^m,60$ de profondeur, assure l'assèchement de la plate-forme.

L'exécution de ce tunnel, faisant partie d'une ligne concédée dès 1848 à une compagnie dite de Troy et Greenfield, a passé par de nombreuses péripéties. L'impossibilité de réunir un capital suffisant pour l'exécution d'un ouvrage aussi considérable, dont l'utilité est encore aujourd'hui contestée, et dont la dépense, difficile à prévoir même d'une manière approchée, devait attendre pendant de longues années un commencement de rémunération, paralysa complètement les efforts de la Compagnie jusqu'en 1854, époque à laquelle l'État de Massachusetts consentit à lui prêter une somme de dix millions de francs. De 1854 à 1858, plusieurs marchés furent successivement passés avec des entrepreneurs pour l'exécution des travaux, qui ne furent commencés que dans le courant de cette dernière année, et poussés avec une certaine activité par l'entrepreneur, M. Herman Haupt, jusqu'en 1862. A la fin de cette année, une galerie de 730 mètres de longueur avait été ouverte à partir de la tête est du souterrain, et un puits de 97 mètres de profondeur, avait été percé à 564 mètres de la tête ouest. Les travaux d'extraction avaient été exécutés à la mine en perçant les trous à la main ; on avait bien essayé de quelques perforatrices, mais sans succès.

Les difficultés survenues entre l'entrepreneur et la Compagnie déterminèrent alors le gouvernement de l'État de Massachusetts à reprendre pour son compte l'entreprise, pour la continuation de laquelle il prit l'avis de plusieurs ingénieurs. L'un d'eux, M. Ch. Storrow, fut envoyé en Europe pour étudier les divers systèmes de construction des souterrains, et en particulier le percement du Mont-Cenis.

Une commission exécutive fut ensuite chargée de la direction des travaux. L'un de ses premiers actes fut de décider, conformément à l'avis de plusieurs ingénieurs européens, le percement d'un puits d'extraction au centre de la dépression séparant les deux faîtes de la montagne. Ce puits, ouvert en forme d'ellipse de $4^m,57$ sur $8^m,20$ d'axes, devait avoir une profondeur de $314^m,2$. Sa construction, commencée le 1er janvier 1864, fut interrompue pendant un an à la suite d'un incendie qui, en détruisant en quelques instants le bâtiment des machines d'épuisement, occasionna la mort de treize ouvriers, noyés au fond du puits; elle ne fut terminée qu'au bout de six ans et demi, en août 1870.

La Commission fit en outre changer le mode d'attaque des galeries commencées par les deux têtes ; au lieu de continuer l'avancement par le haut, elle décida de le faire par le bas sur une hauteur de 1^{m},80 et une largeur de 4^{m},50, en ouvrant une rigole centrale pour écouler les eaux d'infiltration et contenir les tuyaux d'amenée de l'air comprimé, de l'eau nécessaire pour le percement des trous de mine, et du gaz d'éclairage. On comptait que l'abaissement de la galerie d'avancement, en favorisant l'assèchement et simplifiant les manœuvres des wagons sur les voies de service, qui seraient établies partout au même niveau, permettrait d'imprimer une plus grande rapidité à l'extraction, et de tirer ainsi un meilleur parti de l'emploi des perforatrices mécaniques.

Enfin, pour faciliter l'assèchement des galeries, la Commission réduisit à une très-faible longueur le palier ménagé primitivement entre les deux pentes opposées au milieu du souterrain.

De 1864 à 1868, période pendant laquelle fonctionna la Commission, les travaux se concentrèrent principalement sur le percement du puits central et sur l'exécution de la partie ouest du souterrain, où le défaut de consistance du sol, détrempé par d'abondantes infiltrations, conduisit les ingénieurs à ouvrir, à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du souterrain, des galeries d'assèchement et à renforcer considérablement les blindages. Les figures 8, 9 et 10 de la planche XXVII indiquent les dispositions de ces blindages et le mode de construction de la voûte exécutée à l'intérieur.

Une nouvelle activité fut imprimée aux travaux à partir du moment où la continuation en fut donnée à forfait à MM. Shanly frères de Montréal, pour la somme de 22 970 000 francs, qui devait, avec les travaux déjà exécutés, porter la dépense totale à 37 970 000 fr. Cette nouvelle entreprise commença en 1868 ; les entrepreneurs s'étaient engagés à faire marcher l'avancement de la galerie d'attaque à raison de 22^{m},90, et le percement complet à raison de 38^{m},10 par mois, en y comprenant l'achèvement des galeries déjà commencées.

Les nouveaux entrepreneurs maintinrent le mode d'attaque par le bas pour la galerie d'avancement partant de la tête est, à cause de l'abondance des infiltrations ; pour les autres galeries, ils revinrent au mode d'attaque par le haut, qu'ils trouvèrent plus commode pour l'installation et le travail des machines.

L'extraction des déblais à la mine, grâce à l'emploi des perfora-

trices Burleigh, qui reçurent dans ces travaux leur première application sur une grande échelle (on avait déjà commencé à en faire l'essai dès 1866), et de la dynamite, s'accéléra d'année en année, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant :

INDICATION des GALERIES.	AVANCEMENT EN					OBSERVATIONS.
	1869.	1870.	1871.	1872.	1873.	
	m.	m.	m.	m.	m.	
Tête de l'Est........	377	462,00	531,60	455,00	—	Le puits central a été terminé en août 1870.
Galeries poussées du puits central vers l'Est...	—	18,00	85,00	374,00	—	
Galeries poussées du puits central vers l'Ouest.	—	26,50	46,50	36,20	518,50	
Tête de l'Ouest......	137	367,00	421,00	492,80	437,60	
Avancement total par an..............	514	878,50	1084,10	1357,00	956,10	

Les galeries partant de la tête de l'est et du puits central en allant vers l'est se rencontrèrent le 12 décembre 1872, et les deux autres à l'ouest, le 27 novembre 1873. Ce n'est toutefois qu'un an plus tard, en décembre 1874, qu'eut lieu l'achèvement complet des déblais.

D'après MM. Shanly, l'extraction de chaque mètre cube a exigé en moyenne le percement de 4m,45 de longueur de trous ; dans la roche schisteuse où l'on employait la poudre ordinaire, il a fallu 3 kilogrammes de poudre en moyenne par mètre cube ; pour les roches plus compactes, on s'est servi de la dynamite n° 1, à raison de 1k,50 par mètre cube en moyenne.

Les trous avaient 0m,05 de diamètre, et de 2m,50 à 4 mètres de profondeur.

Dans la dernière période du percement, en 1873, on se servait simultanément à chaque front d'attaque de six perforatrices Burleigh qui perçaient chacune en moyenne une profondeur de trou de 0m,0305 par minute, en travaillant sous une pression de cinq atmosphères.

Le travail était organisé par relais de huit heures ; dans l'intervalle de chaque relai, deux à trois heures étaient employées au percement des trous au nombre de douze, et le reste du temps à l'enlèvement des produits de l'explosion.

MM. Shanly estiment que l'emploi des perforatrices Burleigh a procuré une économie de temps et d'argent des deux tiers. La dynamite n° 1 employée à partir de 1870, et la poudre au mica (*mica powder*)[1], introduite en 1874 pour les abatages complémentaires, leur ont donné les résultats les plus satisfaisants.

Quant au revêtement du souterrain, il avait été déjà effectué avec radier sur une longueur de 250 mètres à partir de la tête de l'Ouest; le revêtement a été ensuite prolongé sans radier sur 410 mètres. Plus loin, il cesse d'être continu; il n'a plus été exécuté que de place en place, partout où la cohésion de la roche a paru douteuse. La longueur totale des parties ainsi revêtues ne dépassait pas 770 mètres au commencement de l'année 1876.

Il est toutefois probable, d'après l'avis de l'ingénieur consulté en dernier lieu sur l'extension à donner aux revêtements, M. Philbrick, qu'ils devront dans un avenir plus ou moins prochain comprendre la plus grande partie du souterrain.

C'est en 1875, le 3 février, que le premier train a parcouru le souterrain; mais la circulation régulière des trains de voyageurs n'a commencé qu'en octobre de la même année, et ce n'est que le 1er juillet 1876 que le souterrain a été déclaré officiellement terminé, et qu'il a été définitivement livré à l'exploitation.

Des travaux complémentaires ont dû néanmoins y être exécutés jusqu'en 1877 : à l'Ouest, la voûte a été prolongée et des murs de soutènement ont été construits à la suite du souterrain; on a en outre établi une tête en maçonnerie à l'Est.

Jusqu'à présent on n'a encore posé qu'une seule voie.

Des précautions spéciales sont prises pour assurer la sécurité des trains. La longueur totale du souterrain est divisée en quatre sections égales par trois lampes portant des indications qui permettent aux mécaniciens de régler leur vitesse d'après leur position; en outre le télégraphe annonce à chaque tête l'entrée et la sortie des trains, qui parcourent tout le souterrain en un temps variant de dix à vingt minutes, suivant qu'il s'agit d'un train de voyageurs ou de marchandises.

L'exécution du souterrain de Hoosac a en définitive duré vingt-deux ans, de 1854 à 1876, et coûté 51 400 000 francs, soit par mètre

1. Composé analogue à la dynamite, mais dans lequel on se sert de la poussière de mica pour absorber la nitroglycérine (voir p. 113).

courant 6726 francs, c'est-à-dire plus que le tunnel du Mont-Cenis, qui a été percé en quatorze ans, et dont la dépense, de 75 millions, répartie sur une longueur de 12 850 mètres, nefait ressortir qu'une dépense de 5900 francs par mètre courant.

Si les résultats de cette comparaison sont tout à l'avantage du grand tunnel européen, cela s'explique par les conditions particulièrement favorables dans lesquelles s'est présentée son exécution. Le caractère d'utilité internationale de cette grande entreprise lui a assuré dès le principe le concours financier de deux gouvernements qui n'ont rien épargné pour lui imprimer la plus grande activité et lui éviter toutes les causes d'interruption; elle s'est trouvée en outre pourvue, presque dès le commencement, des machines, qui, en se substituant au travail à la main, devaient si notablement accélérer sa marche. Il en a été tout autrement pour l'entreprise du Hoosac tunnel; commencée avec des moyens insuffisants par une Compagnie, puis bientôt interrompue, et enfin reprise par un État ne disposant que de ressources fort limitées, ce n'est en définitive que fort tardivement qu'elle s'est trouvée en mesure de recevoir une impulsion en rapport avec son importance.

Quelque jugement que l'on puisse porter sur la manière dont les travaux ont été conduits et sur l'utilité du percement en lui-même, on ne saurait refuser à cette entreprise un certain caractère de grandeur; la persévérance dont l'État de Massachusetts a fait preuve, en la menant à bonne fin à travers de sérieuses difficultés et au prix de sacrifices considérables, lui fait d'autant plus honneur, que les esprits sont peu portés en Amérique vers les entreprises placées en dehors de la spéculation par leur longue durée.

Il ne faut pas oublier d'ailleurs que le percement du Hossac tunnel a été en Amérique le point de départ des progrès accomplis dans la construction des perforatrices mécaniques, qui, s'ils avaient été déjà réalisés au moment où ce percement a été commencé, en auraient considérablement réduit la dépense et la durée.

Tunnel de Sutro (Nevada).

Bien que ce tunnel ne soit pas à proprement parler un tunnel de chemin de fer, les conditions spéciales dans lesquelles il a été entrepris le signalent à l'attention comme exemple d'une entre-

prise industrielle que l'importance des intérêts particuliers engagés a élevée à la hauteur d'une entreprise d'utilité publique, au point de motiver l'intervention de la législature locale et du Congrès.

On sait qu'un des filons les plus riches de l'État de Nevada, qui tient aujourd'hui avec celui d'Utah le premier rang pour la production des métaux précieux, est celui du Comstock, d'où l'on a extrait depuis 1860 pour plus d'un milliard de francs d'or et d'argent. Les affleurements de ce filon se trouvent près du sommet du mont Davidson, faisant partie d'un contrefort de la chaîne des montagnes de Washoe qui sépare les deux gorges de Gold Cañon et de Ten Mile Cañon, débouchant dans la vallée où se trouve Carson City, capitale du Nevada.

Le filon du Comstock plonge du Nord au Sud sous le massif de syénite qui constitue presque entièrement le mont Davidson, avec une inclinaison variant de 38° à 45°. Son épaisseur à l'affleurement atteint dans certains endroits de 180 à 300 mètres; à une profondeur de 120 à 180 mètres, elle est encore de 30 à 40 mètres, plus bas elle se réduit à 18 mètres et à 9 mètres.

Un très-grand nombre de puits ont été percés pour l'extraction du minerai par plus de quarante compagnies particulières ayant chacune ses galeries et son matériel d'épuisement et d'extraction. Pendant longtemps un certain nombre de ces compagnies a trouvé dans ce système d'exploitation d'assez grands bénéfices; mais on a dû prévoir le moment où, malgré la grande richesse du minerai, d'où l'on n'extrait guère aujourd'hui que 75 pour 100 du métal contenu, cette exploitation, surchargée de tous les frais occasionnés par la multiplicité des installations et par la profondeur toujours croissante des puits d'extraction [1], cesserait d'être rémunératrice, et cette préoccupation a fait surgir l'idée de la construction d'un souterrain qui, partant du centre de la masse à exploiter, pour déboucher dans la vallée de Carson, permettrait, en simplifiant considérablement l'extraction et le transport du minerai, d'exploiter avantageusement à de très-grandes profondeurs toute la masse aurifère et argentifère.

Le projet de ce souterrain est dû à M. Alex. Sutro, qui a obtenu

1. Il y a des puits qui atteignent dès à présent une profondeur de plus de 400 mètres.

en 1865 de la législature de l'État de Nevada une concession, lui accordant le droit de passage sur tous les terrains traversés. La plupart des Compagnies minières se sont en outre engagées à payer au concessionnaire 10 francs par tonne de minerai extrait, et le Congrès l'a autorisé : 1° à occuper tous les terrains faisant partie du domaine de l'État, nécessaires pour la construction du souterrain, moyennant une indemnité de 15 francs par hectare ; 2° à acheter au prix de 60 francs par hectare dans un rayon de 600 mètres toutes les parcelles de terrain non encore occupées, contenant du minerai ; 3° à exiger de toutes les exploitations déjà existantes une redevance égale à celle qui lui avait déjà été promise par un certain nombre de compagnies, à la condition toutefois que le tunnel serait ouvert en 1877.

Le souterrain, commencé par la Compagnie du Sutro tunnel, organisée au capital de 100 millions de francs, s'ouvre dans la vallée de Carson à 2 kilomètres de la rivière ; il doit atteindre le filon de Comstock à 6100 mètres de son entrée, et à 600 mètres environ au-dessous du sommet du mont Davidson ; il doit présenter une pente de 0m,0025 et une largeur suffisante pour l'établissement de deux voies.

Les travaux ont été commencés le 19 octobre 1869 ; quatre puits ont été percés pour l'extraction des déblais, savoir :

INDICATION DES PUITS.	DISTANCE de LA TÊTE.	PROFONDEUR
1er puits mis à fond....................	1500m	160m
2e puits mis à fond........................	2700	317
3e puits abandonné à 140 mètres de profondeur.	4100	405
4e puits abandonné à 205 mètres de profondeur.	5300	450

Le souterrain est percé avec une hauteur de 3m,65 et une largeur de 4m,88 ; il est divisé en deux compartiments dont le ciel et les côtés sont bordés ; une rigole occupe la partie centrale du plafond.

Le tunnel avait atteint à la fin de 1877 une longueur totale de

5471 mètres, le maximum de l'avancement avait été jusqu'alors de 105 mètres par mois [1].

Les perforatrices employées sont celles du système Ingersoll. M. Sutro estime qu'elles procurent une économie de 33 pour 100 sur le forage des trous de mine à la main, et qu'elles permettent d'avancer trois fois plus vite dans les galeries d'une certaine largeur, l'avantage qu'elles procurent diminuant très-sensiblement dans les petites galeries. La dynamite est seule employée pour les coups de mine.

On emploie au Sutro tunnel les mêmes procédés d'abatage qu'au tunnel de Musconetcong. La galerie d'avancement, placée au sommet de la voûte, a $2^m,40$ de hauteur sur 3 mètres de largeur ; on y emploie simultanément six perforatrices, et douze hommes chargés à la fois du service des machines et du chargement des déblais ; les abatages ont généralement une profondeur de $2^m,10$ à $3^m,50$.

Tunnels exécutés dans les villes pour relier des lignes de chemins de fer.

Pour relier les gares des lignes de chemins de fer dans une même ville, on a été conduit, là où l'importance de la circulation locale et celle du trafic sur les lignes à mettre en communication rendaient dès le principe inadmissible le passage des trains dans les rues, ou forçaient d'y renoncer après un certain temps, à établir des lignes

1. Le tableau suivant donne l'avancement total et mensuel pour les années déjà écoulées :

ANNÉES.	AVANCEMENT annuel.	AVANCEMENT moyen mensuel.
1869	$140^m,00$	$70^m,10$
1870	393 ,00	32 ,80
1871	278 ,80	23 ,20
1872	248 ,60	20 ,70
1873	385 ,40	32 ,10
1874	816 ,60	68 ,10
1875	1136 ,60	94 ,70
1876	1118 ,00	93 ,20
1877	954 ,00	79 ,50
Total...	$5471^m,00$	
Moyenne par mois..........		$55^m,83$

de jonction en partie souterraines. C'est ce qui a été fait de 1863 à 1865 à Pittsburg, pour la jonction de la ligne de Pennsylvanie avec celle de Pittsburg, Cincinnati et Saint-Louis; à Saint-Louis, pour mettre en communication, à travers la ville et le Mississipi, l'Union Dépôt (gare centrale), où aboutissent toutes les lignes situées sur la rive droite de ce fleuve, avec les lignes de la rive gauche, et récemment à Baltimore, pour réunir quatre lignes dont les gares sont situées dans divers quartiers de la ville.

Souterrain de Pittsburg. — Le souterrain de Pittsburg, construit pour deux voies et situé entre la gare centrale du réseau pennsylvanien et la rivière de Monongahela, passe sous le quartier de Pittsburg connu sous le nom de Grant's Hill; il a une longueur de 425 mètres, et a été percé par la méthode anglaise dans la roche désagrégée.

Souterrain de Saint-Louis. — Le souterrain de Saint-Louis dont nous donnons fig. 1 et 2, pl. XXVIII, le profil en long et le profil en travers, est établi sur le prolongement du grand pont, construit de 1868 à 1873 sur le Mississipi, où il a été ménagé comme on le sait, deux tabliers, un tablier supérieur pour la circulation ordinaire, et un tablier inférieur pour les trains de chemins de fer, qui s'engagent immédiatement au sortir du pont dans le souterrain. Celui-ci suit d'abord Washington avenue, l'une des principales rues de Saint-Louis; puis il gagne, par la huitième rue, la gare centrale en passant sous le bâtiment de la Poste.

Ce souterrain, de 1488 mètres de longueur totale, a été construit en tranchée dans un terrain de marne; il présente vers son milieu une courbe de $152^{m},50$ de rayon, et aux abords du pont une rampe de $0^{m},0115$. Il comprend deux galeries d'égale largeur, recouvertes par des voûtes elliptiques, et de $5^{m},03$ de hauteur libre au-dessus des rails, séparées par un mur de refend.

Le tunnel de Saint-Louis qui a été construit par la compagnie du pont de Saint-Louis [1] et livré à la circulation en 1874, a coûté 6000000 de francs, soit 4000 francs environ par mètre; ce prix

1. Cette compagnie spéciale s'est constituée sous le patronage de treize compagnies de chemins de fer plus ou moins directement intéressées à l'établissement du pont et du tunnel de Saint-Louis, et dont aucune n'aurait pu se charger seule d'entreprendre ce grand travail. Ces compagnies remboursent à la compagnie spéciale ses avances au moyen de redevances annuelles.

élevé est dû aux acquisitions de terrain et indemnités de toute nature que la Compagnie a eu à payer à l'intérieur de la ville.

Souterrains de Baltimore. — Le plus intéressant spécimen de souterrains construits à la traversée des villes est fourni par la ville de Baltimore, où aboutissent cinq lignes de chemins de fer, qui, jusqu'à ces derniers temps, étaient sans communication directe entre elles, et dont deux seulement, celles de Philadelphie, Wilmington et Baltimore, et de Baltimore et Ohio, étaient reliées au port. Les wagons de voyageurs et de marchandises venant de Philadelphie par la première de ces lignes, à destination de la deuxième, devaient traverser les rues de Baltimore, tirés par des mules, ou passer d'un côté à l'autre des bassins sur un bac à vapeur; quant aux trois autres lignes, elles n'avaient aucun moyen d'amener sur les quais les wagons de marchandises à décharger dans les navires.

Il a d'abord été question de relier les deux premières lignes par un tunnel passant sous les bassins ; mais la Compagnie du Baltimore et Ohio R.R. n'ayant pu s'entendre avec les autres Compagnies de chemins de fer, on dut renoncer à cette idée. On s'arrêta finalement au parti de construire un véritable chemin de ceinture traversant de l'Est à l'Ouest les quartiers situés au Nord de la ville et comprenant deux parties : une première partie destinée a relier à l'Ouest les deux lignes du Potomac et Western Maryland R.R. avec celle du Northern Central R.R., et exécutée par la Compagnie du Baltimore et Potomac, et une deuxième partie établissant vers l'Est la jonction entre le Northern Central et le Philadelphia, Wilmington et Baltimore R.R., et se prolongeant vers la partie Est du port dans le quartier désigné sous le nom de Canton. Cette deuxième partie a été exécutée par une autre Compagnie, celle de l'Union Railway.

Le premier de ces chemins de ceinture comprend un souterrain de 2123 mètres de longueur exécuté entièrement en tranchée, sauf sur une longueur de 330 mètres, à travers des terrains d'argile et de sable fortement imbibés d'eau et recouvrant une roche granitique, qui ont nécessité un blindage exceptionnel. Les voûtes sont exécutées en général, sauf sur certains points où le défaut de hauteur leur a fait donner la forme elliptique, en arc de cercle de $4^m,11$ de rayon, reposant sur des piédroits inclinés, et présentant, avec une largeur de $7^m,76$ à la base, une hauteur libre de $5^m,64$; sur certains

points où l'on avait à résister à de fortes pressions latérales, on a établi un radier; sur d'autres, où le sol manquait de résistance, les fondations des piédroits ont été assises sur des plates-formes en bois.

Le grand souterrain du Baltimore et Potomac R.R. a été construit en deux ans, de 1871 à 1873; il offre dans certaines parties des pentes de $0^m,009$ et $0^m,013$.

Le souterrain de l'Union railway, dont la coupe transversale est donnée fig. 23, pl. XXVIII, n'a que 1040 mètres de longueur, et il a été construit presque entièrement à ciel ouvert à la même époque; il a coûté plus cher proportionnellement que le précédent, les prix étant respectivement pour les deux souterrains de 4165 francs et de 2573 francs le mètre courant.

Tunnels sous l'eau.

Le percement de tunnels sous l'eau pour le passage des chemins de fer a été inauguré en Amérique par le commencement d'un souterrain destiné à faire communiquer, à travers la rivière de Détroit, par laquelle les eaux du lac Huron se déversent dans le lac Erié, la ligne canadienne du Great Western Railway et la ligne américaine du Michigan Central R.R., actuellement reliées par un service de bacs à vapeur sur lesquels on embarque les wagons.

Il avait été d'abord question d'établir un pont avec travées tournantes sur la rivière; mais les passages de bateaux pendant une partie de l'année sont si fréquents, qu'on a reconnu qu'il serait impossible, avec un pont tournant, de satisfaire aux exigences de la navigation sans compromettre la régularité du service des trains. Le gouvernement canadien pour ce motif s'est opposé dès le principe à l'établissement d'un pont.

L'accord s'est établi en 1872 entre les deux gouvernements du Canada et des États-Unis pour la construction d'un tunnel établi par les mêmes procédés que les tunnels qui servent à alimenter les villes de Chicago et de Cleveland au moyen des eaux des lacs Michigan et Érié.

Tunnels de Chicago. — On sait qu'à Chicago, il a été successivement percé sous l'eau deux galeries, situées à 15 mètres de distance l'une de l'autre et débouchant dans un îlot artificiel établi à 3 200 mètres de la rive, où sont placées les prises d'eau. Ces deux tunnels

de section circulaire, ayant respectivement $1^{m},52$ et $2^{m},10$ de diamètre intérieur, traversent en plein une couche d'argile compacte tapissant le fond du lac Michigan et superposée à la roche porphyrique. Le niveau des radiers de ces galeries près de la prise d'eau est à $21^{m},75$ en contrebas du niveau des eaux du lac et à 10 mètres environ au-dessous du fond du lac.

L'exécution de ces galeries, construites, l'une de 1864 à 1866, l'autre de 1873 à 1875, n'a pas présenté de difficultés, et elle a marché avec une grande rapidité ; l'avancement a varié de 2 mètres à $3^{m},60$ par jour.

Tunnel de Cleveland. — A Cleveland, où le tunnel sous le lac Erié a seulement deux kilomètres, et où les sondages préalables faisaient espérer une construction aussi facile qu'à Chicago, le percement a été beaucoup plus laborieux; des infiltrations abondantes compliquées de la rencontre de veines de sable bouillant et du dégagement de gaz méphitiques ont plusieurs fois forcé d'interrompre les travaux. Il est arrivé fréquemment que les irruptions d'eau et de sable, qui avaient lieu surtout à l'approche des orages, ont été si brusques, que les ouvriers ont eu à peine le temps de se sauver. En outre la ventilation au fond des galeries est devenue plusieurs fois insuffisante, malgré l'emploi de ventilateurs puissants. On a dû à diverses reprises dévier les galeries, augmenter les épuisements et, sur certains points, recourir à l'emploi d'un bouclier pour prévenir les éboulements en masse. Enfin des tassements considérables occasionnés par l'entraînement des sables ont nécessité après coup l'abandon d'une portion de galerie déjà maçonnée sur 250 mètres de longueur, et l'exécution d'une nouvelle galerie destinée à la remplacer.

Pour ce tunnel, l'avancement n'a jamais dépassé par mois 70 mètres ; les travaux commencés en 1869 n'ont été terminés qu'en 1876.

Tunnel de Détroit. — A Détroit, on a choisi pour l'emplacement du souterrain sous la rivière un point où celle-ci a une largeur de 800 mètres, et où son lit est constitué par une argile assez compacte, superposée à la roche calcaire.

Une commission d'ingénieurs avait proposé et fait adopter pour l'exécution des travaux le plan de campagne suivant : Deux tunnels établis chacun pour une voie avec une section intérieure circulaire de $5^{m},64$ de diamètre, et présentant l'un et l'autre une longueur totale de 2610 mètres, devaient être percés à une profondeur suffi-

sante pour qu'il y eût une distance minima de 6 mètres entre le fond de la rivière, qui dans cette partie a un tirant d'eau de 5 à 6 mètres, et l'extrados des voûtes. On comptait qu'ainsi il y aurait tout au moins partout une épaisseur de 3^{m},60 d'argile compacte au-dessus de cet extrados.

Les deux tunnels devaient être assez éloignés l'un de l'autre pour que dans le cas où l'on serait obligé d'ajourner l'exécution de l'un d'eux après l'achèvement de l'autre, les travaux d'excavation du premier ne pussent compromettre la stabilité du second.

On se proposait en outre d'établir un tunnel d'assèchement plus bas et plus petit, destiné à faciliter la construction des deux grands tunnels, et à recueillir les eaux d'infiltration au cas où un accident arrêterait le jeu des pompes d'épuisement; les puits aux extrémités de cette troisième galerie devaient servir à l'extraction des déblais des deux autres, et plus tard à leur ventilation.

L'exécution de cette galerie devait en outre permettre d'abréger notablement la durée de la construction des grands tunnels, en fournissant le moyen d'établir des points d'attaque intermédiaires au moyen de courtes galeries traversales.

Les travaux commencèrent en juin 1872 par le fonçage de deux puits sur les rives, où l'on rencontra le roc un peu au-dessus du niveau prévu pour le radier de la galerie d'assèchement, aussi bien sur une rive que sur l'autre. On se mit ensuite des deux côtés à l'attaque de la galerie d'assèchement, qui avança assez lentement à cause de la nature résistante du sol où l'on rencontra un certain nombre de gros blocs.

Le percement de ces deux amorces de galerie, qui furent poussées d'abord jusqu'à 180 mètres sur la rive américaine, et à 30 mètres sur la rive canadienne, fit d'abord constater une grande régularité dans les couches de terrain traversées, qui semblait promettre aux travaux une heureuse issue, quand plusieurs irruptions d'eau et de sable vinrent subitement les interrompre. Après avoir muré la galerie sur plusieurs points de sa longueur sur la rive canadienne, on prit le parti de se relever verticalement de 3 mètres pour commencer le percement de l'un des grands tunnels, en se servant de la première comme galerie d'assèchement et d'accès.

Les accidents qui avaient fait renoncer à la continuation de celle-ci ne tardèrent pas à se reproduire, avec cette seule différence que les irruptions d'eau et de sable se faisaient par le radier, au lieu

de se produire à la hauteur du ciel, accusant ainsi l'existence d'une veine de sable continue à un certain niveau. Les travaux furent de nouveau arrêtés, puis repris après l'installation de machines d'épuisement plus puissantes, et enfin abandonnés complètement par les entrepreneurs découragés.

Sur la rive américaine, où l'on était parvenu à percer une galerie d'assèchement de 340 mètres, des accidents analogues se produisirent; ils se compliquèrent de dégagements de gaz méphitiques qui déterminèrent plusieurs asphyxies. Malgré l'augmentation de puissance donnée aux ventilateurs et aux machines d'épuisement, il arriva un moment où les infiltrations, alimentées par des sources dont le niveau était notablement supérieur à celui des eaux du lac Huron, ne purent être surmontées, et on finit aussi par arrêter définitivement de ce côté les travaux. Ils n'ont pas été repris depuis 1872, bien qu'il ait été présenté plusieurs projets pour les achever.

L'opinion d'un grand nombre d'ingénieurs est néanmoins que la continuation du tunnel de Détroit, malgré les difficultés qu'elle présente, est loin d'être impraticable. Ils pensent que l'emploi de moyens d'épuisement plus énergiques et d'appareils de ventilation plus puissants, combiné avec celui d'un bouclier, dont, malgré la recommandation faite aux entrepreneurs dès le début des travaux, il n'a jamais été fait usage, aurait permis vraisemblablement de mener les travaux à bonne fin.

Il est actuellement question d'exécuter un tunnel en un autre point de la rivière de Détroit. Ce tunnel passerait sous l'île de Storry, située au droit de la ville d'Amherstburg, et séparée de la terre ferme par un chenal de 575 mètres de largeur et de $4^{m},80$ de profondeur. Ce tunnel serait percé, non plus dans l'argile, mais dans la roche.

Résumé.

En résumé, il existe peu de différence entre les systèmes de percement suivis pour les souterrains en Europe et en Amérique. Pour l'exécution de ces ouvrages, les ingénieurs américains se sont beaucoup plus inspirés des procédés déjà pratiqués en Europe qu'ils n'ont cherché à en imaginer de nouveaux; encore pourrait-on leur reprocher d'avoir trop exclusivement appliqué à la construction des souterrains les procédés anglais et autrichien, qui sont, il est vrai

les mieux appropriés aux terrains qu'ils avaient le plus souvent à traverser, mais qui dans certains cas auraient pû être avantageusement remplacés par le procédé belge, si fréquemment appliqué en France. On ne peut nier toutefois que le procédé américain, tel qu'il est le plus souvent pratiqué, n'offre avec ce dernier procédé une certaine analogie, en ce que tous deux commencent le percement et le revêtement par la partie supérieure du tunnel : seulement ce revêtement est exécuté en bois dans les tunnels américains.

La pratique du revêtement permanent en bois, appliqué aux souterrains de construction récente et à une voie, a été amenée par la nécessité d'arriver le plus vite possible à la mise en exploitation des lignes, et d'en réduire au strict nécessaire les dépenses de premier établissement. L'exécution immédiate d'un revêtement en maçonnerie constituerait pour les lignes non achevées une charge d'autant plus lourde, que les matériaux propres à cette exécution exigeraient le plus souvent de longs transports, qu'il est toujours avantageux, parfois indispensable, d'ajourner jusqu'à l'achèvement de la voie : l'emploi du bois dans le revêtement des souterrains a en définitive le même objet et se justifie par les mêmes motifs que dans les estacades avec lesquelles on traverse les vallées, en attendant l'exécution d'ouvrages plus durables.

Nous avons vu d'autre part que pour l'emploi des perforatrices mécaniques les ingénieurs américains se sont laissé devancer par les ingénieurs européens. Quand ils en sont venus à leur tour à les appliquer, ils ont adopté pour les perforatrices un mode de construction et un mode d'emploi généralement différents.

Nous avons déjà indiqué en quoi les perforatrices américaines se distinguaient des perforatrices européennes ; quant aux différences dans le mode d'emploi en souterrain, elles portent principalement sur les dimensions des galeries d'avancement, beaucoup plus étroites dans les grands tunnels européens que dans les grands tunnels américains, et sur la profondeur des trous de mine.

Dans les tunnels américains, ces trous, percés dans des directions divergentes, ont une profondeur qui atteint parfois de 3 mètres à $3^{m},50$, tandis qu'ils ne dépassent guère un mètre dans les souterrains européens.

Il est incontestable que, dans les conditions où elles sont employées en Amérique, les perforatrices mécaniques, moins fréquemment déplacées, plus facilement installées, et plus commodément

manœuvrées, exigent un personnel moins nombreux et fournissent un travail plus économique, mais l'avancement ainsi obtenu est forcément moins rapide, par suite de la dispersion des machines sur un front d'attaque plus étendu, et du travail plus considérable nécessaire pour l'enlèvement des débris après chaque coup de mine, ce qui réduit le temps consacré au percement des trous pour l'avancement[1]. L'exemple du percement du tunnel de Sutro, où, avec une section de galerie d'avancement se rapprochant de celle des galeries d'attaque des grands souterrains européens, on a avancé tout aussi vite, tout en réduisant considérablement le personnel, prouve d'ailleurs que le système des trous de mine profonds, tel qu'il est pratiqué en Amérique pour les roches compactes, et auquel la dyna-

---

1. Le tableau suivant résume les principales conditions d'établissement des galeries d'avancement dans les cinq tunnels du Musconetcong, Hoosac, Sutro, Mont-Cenis et Saint-Gothard :

DÉSIGNATION.	MUSCONETCONG.	HOOSAC.	SUTRO.	MONT CENIS.	SAINT-GOTHARD.
Nature des terrains traversés.	Syénite.	Mica-schistes et gneiss.	Syénite.	Calcaires, schistes talqueux, quartz.	Gneiss, mica-schistes.
Position de la galerie d'avancement......	Haute.	Haute et basse.	Haute.	Basse.	Haute.
Dimensions. Largeur.	$7^{m},90$	$7^{m},32$	$3^{m},05$	$2^{m},89$	$2^{m},40$
Dimensions. Hauteur.	$2^{m},30$	$2^{m},60$	$2^{m},44$	$2^{m},60$	$2^{m},50$
Superficie de la galerie d'attaque......	$19^{m2},11$	$18^{m2},30$	$7^{m2},44$	$7^{m2},54$	$6^{m2},00$
Nombre de machines employées à la fois au percement de la galerie d'attaque...	6	6	4 à 6	9	6 à 8
Nombre de trous forés dans le front d'attaque pour chaque tir de mines..........	36	35 à 40	18	70 à 80	13 à 18
Diamètre des trous...	$0^{m},037$ à $0^{m},067$	$0^{m},05$	$0^{m},05$ à $0^{m},06$	$0^{m},03$ à $0^{m},04$	$0^{m},04$
Profondeur moyenne.	$3^{m},10$	$3^{m},55$	$2^{m},06$	$0^{m},80$ à $1^{m},00$	$1^{m},10$
Système de perforatrices..............	Ingersoll.	Burleigh.	Burleigh.	Sommeiller et François.	Mac Kean et Ferroux.
Nombre de coups battus par minute.....	120	120	120	260 à 270	180
Matière explosible....	Dynamite.	Dynamite.	Dynamite.	Poudre.	Dynamite.
Nombre d'ouvriers employés à la fois à l'avancement	19	18 à 20	12 par relais de 8 h.	44 par relais de 12 heures.	18 à 22 par relais de 8 h.
Avancement moyen par jour...........	$1^{m},16$	$0^{m},40$	2^{m} à $3^{m},60$	$1^{m},45$	$3^{m},00$

mite se prête beaucoup mieux que la poudre, n'exclut pas la possibilité de réduire la section de la galerie d'attaque, et qu'il admet un avancement aussi rapide que le système d'attaque employé dans les souterrains européens.

La préférence donnée en dernier lieu en Europe comme en Amérique aux galeries d'avancement placées au sommet des souterrains, quand des nécessités particulières comme celles de l'assèchement ou la nature de la roche ne forcent pas de les placer plus bas, montre d'autre part que les avantages que présente au point de vue de la simplicité des installations ce système d'abatage, qui dispense d'échafauder les machines, font plus que compenser les inconvénients résultant pour l'enlèvement des déblais de leur transport effectué successivement à des niveaux différents.

Quant aux tunnels sous l'eau, on voit par l'insuccès du double souterrain de Détroit et le succès si laborieusement obtenu à Cleveland, après la réussite complète du tunnel de Chicago, combien il est difficile, malgré le soin que l'on peut mettre aux sondages préalables, de se rendre compte à l'avance des diverses particularités que peuvent présenter les terrains à traverser.

La faible épaisseur de la couche plus ou moins imperméable surmontant le tunnel de Détroit était loin de pouvoir donner une sécurité suffisante contre les risques à courir par suite du défaut d'homogénéité de cette couche et de la présence de veines de sable, et sa grande mobilité a considérablement aggravé les difficultés du percement. On n'en saurait rien induire pour un percement à effectuer sous l'eau à travers une roche compacte, où l'on aurait seulement à se préoccuper d'obvier aux infiltrations qui auraient lieu par des fissures et d'assurer la ventilation. Dans ces conditions, avec les moyens dont on peut disposer aujourd'hui pour ce double objet, il ne paraît pas douteux que, malgré la grande part qui reste toujours à l'imprévu dans les travaux de ce genre, on ne parvienne à mener à bonne fin une entreprise comme celle de Détroit, qui ne semble pas, en définitive, devoir présenter de plus grandes difficultés que les percements de galeries sous-marines déjà exécutées avec un plein succès à San Francisco et à New-York pour le dérochement des récifs de Blossom Rock et de Hellgate.

Au premier de ces dérochements où l'on a pratiqué dans le rocher, constitué par un grès métamorphique, une chambre de 43 mètres de long, de 18 mètres de large et de $3^{m},70$ de haut, une petite

machine à vapeur a suffi pour maîtriser les infiltrations sous une épaisseur de toit de 4m,40 en moyenne, et une charge de 1m,80 à basse mer.

A Hellgate, par des profondeurs de 3m,60 à basse mer, on a pu également, sans difficultés sérieuses d'épuisement, percer dans le gneiss, avec une épaisseur de toit de 3 mètres, une série de galeries rayonnantes de 3 à 6 mètres de hauteur couvrant une étendue de près d'un hectare. On a dû seulement forcer les épuisements sur la fin, sans avoir jamais à pomper plus de 30 à 40 litres par seconde.

Nous avons résumé dans le tableau qu'on trouvera ci-après, et qui est emprunté, ainsi que la plus grande partie des dessins reproduits sur les planches XXVII et XXVIII, et des renseignements contenus dans ce chapitre, à l'ouvrage de M. Henry S. Drinker sur les souterrains, un certain nombre de données relatives aux tunnels américains les plus importants.

NOM de LA LIGNE.	DÉSIGNATION du SOUTERRAIN.	ÉPOQUE de la CONSTRUCTION.	DURÉE de la CONSTRUCTION en mois.	LONGUEUR.	INCLINAISON des PENTES.	RAYON des COURBES.	LARGEUR [illegible]
Baltimore et Ohio.	Kingwood (2 voies).	1849-1852	30	1250m	0m,01	Droit.	6m,71
	Board Tree (1 voie).	1851-1853	24	701	0,01	Id.	5,18
	Sand Patch (2 voies).	1857-1871	96	1440	0,01	Id.	7,30
Chesapeake et Ohio.	Churchhill, à Richmond (2 voies).	1872-1874	—	1197	0m,001 à 0m,037	En partie droit et en partie en courbe de 269m.	8,38
	Blue Ridge (1 voie).	1850-1857	—	1300	0,013	Droit.	4,88
	Lewis (1 voie).	1858-1873	—	1229	0,0113	Dr. et courbe de 304m.	4,88
	Alleghany (2 voies).	1854-1870	—	1435	Palier.	Droit.	7,95
	Great Bend (1 voie).	1870-1872	—	1965	0,004	Id.	5,05 4,88
Cincinnati Southern.	Tunnel n° 2 King's Mountain (1 voie).	1873-1876		1219	0,01	Id.	4,73
	N° 15. Scott (1 voie).	1874-1876	30	770	0,0113	Droit et courbe de 291m.	4,73
	N° 17. Id.	1875-1876	15	381	0,005 et 0,013	Id.	
	N° 26. Id.	1874-1876	22	506	0,0026 et 0,0058	Id.	
Central Vermont.	Burlington (1 voie).	1861	6	103	0,0025	Courbe de 435 mètres.	4,88
Erié.	Bergen n° 1 (2 voies).	1855-1861	33	1337	0,0019	Droit.	8,54

…AYON des …URBES.	LARGEUR	HAUTEUR	NATURE des TERRAINS TRAVERSÉS.	LONGUEUR revêtue en bois ou en MAÇONNERIE.	DÉPENSE TOTALE en francs.	DÉPENSE par MÈT. COURANT.	OBSERVATIONS.
…roit.	6m,71	6m,71	Argile compacte et bancs de grès plongeant avec une certaine inclinaison.	En totalité en briques.	3 721 000	fr. 1978	Percé à l'aide de plusieurs puits. Le revêtement seul a coûté par mètre courant 1250 fr. La voie provisoire, par-dessus, est revenue à 125 195 fr.
Id.	5,18	6,71	Bancs d'argile schisteuse.	Id.	2 585 000	3733	Plusieurs puits. — Le revêtement a coûté, par mètre courant, 1880 fr. Il y a eu une voie provisoire par-dessus.
Id.	7,30	5,79	Vieux grès rouge décomposable à l'air, plongeant à travers le tunnel.	675 mètres en briques.	1 927 500	1290	Le travail a été interrompu pendant neuf ans; il y avait quatre puits. Les voûtes reposent sur le roc en certains points.
…n partie droit …en partie …n courbe …de 269m.	8,38	5,85	Argile miocène avec coquilles d'infusoires.	En totalité en briques.	3 593 000	3000	Le percement seul a coûté 772 310 fr.
Droit.	4,88	6,40	Schiste et trapp épidotique.	450 mètres en bois.	2 508 320	1931	Id.
… et courbe de 304m.	4,88	6,00	Grès durs et schistes.	Sans revêtement.	2 056 000	1673	Percé au moyen de 3 puits, dont un incliné. Travaux interrompus par la guerre.
Droit.	7,93	5,94	Grès et schistes.	—	—	—	
Id.	5,05 4,88	5,64	Schistes rouges.	Partie en bois partie en briques.	—	—	
Id.	4,73	5,79	Ardoise tendre se décomposant facilement.	1097 mètres en bois.	1 854 831	1522	3 puits. Le prix du mètre cube d'excavation a varié de 20 fr. à 40 fr.— Le boisage a employé envir. 2m3,80 par mètre, au prix moyen de 95 fr., soit 266 fr.
Droit et courbe de 291m.	4,73	[illegible]	Id.	Entièrement en bois.	803 706	1045	Un seul puits; le boisage a absorbé 2m3,85 par mètre courant et a coûté 211 fr.; prix par mètre cube d'excavation, 20 fr.
Id.		[illegible]	Grès tend[illegible].	Id.	373 000	980	Cube de revêtement, 2m3,51 par mèt. courant; même prix que le précédent pour l'excavation.
Id.		[illegible]	Schistes.	5m,20 en bois.	281 785	557	Déblai à 35 fr. 62 le mètre cube.
…ourbe de …35 mètres.	4,88	5,64	Gros gravier et sable bouillant.	Voûte sur la totalité.	308 400	2978	Terrain extrêmemt difficile, radier en voûte renversée sur toute la longr.
Droit.	8,54	6,40	Dolérite-trapp.	298	4 112	3073	9 puits de 20 à 26. Déblais payés 20 fr. le mètre cube extrait.

NOM de LA LIGNE.	DÉSIGNATION du SOUTERRAIN.	ÉPOQUE de la CONSTRUCTION.	DURÉE de la CONSTRUCTION en mois.	LONGUEUR.	INCLINAISON des PENTES.	RAYON des COURBES.	LARGEUR LIBRE.	HAUTEUR LIBRE.
Delaware Lackawanna et Western.	Bergen n° 2 (2 voies).	1874-1877	—	1283m	Palier.	Droit.	8m,23	6m,10
Lehigh Coal et Navigation Cy.	Nesquehoning (1 voie).	1870-1872	30	1160	Id.	Id.	4,08	5,79
Lehigh Valley-Easton et Amboy.	Musconetcong (2 voies).	1872-1875	27	1472	0m,003 à 0m,0015	Id.	7,93	6.40
Boston et Revere Beach.	East Boston (voie étroite de 0m,91).	1875	2,5	143m,5	0,002	Id.	3,7[illegible]	4,28
Albany et Susquehanna	Webster (2 voies).	1865-1866	—	683	0,004 à 0,010	Id.	5,49	—
Alleghany Valley.	Brookville (2 voies).	1871-1873	18	237,7	0,003	Id.	7,9[illegible]	6.19
Alleghany (Low grade division).	Summit (2 voies).	1871-1876	13	598,9	0,0014	Courbe de 194 mèt.	7,93	6.25
Pennsylvania R. R.	Port Perry (2 voies).	1875-1876	—	156,7	Palier.	Droit.	8,23	6,55
Philadelphia et Reading.	Pulpit Rock (2 voies).	1839-1841	—	499	0,0019	Id.	5,93	5,27
Troy et Greenfield.	Hoosac (2 voies).	1854-1876	22 ans.	7645	0,0072	Droit.	7,92 7,31	6,40 5.64
Southern-Pacific.	San Fernando, près Los-Angeles (Californie) (1 voie).	1875-1876	—	2123	0,0071	Droit.	4,88	5,92

RAYON des COURBES.	LARGEUR LIBRE.	HAUTEUR LIBRE.	NATURE des TERRAINS TRAVERSÉS.	LONGUEUR revêtue en bois ou en MAÇONNERIE.	DÉPENSE TOTALE en francs.	DÉPENSE par MÈT. COURANT.	OBSERVATIONS.
Droit.	8m,23	6m,10	Dolérite, trapp.	—	—	—	6 puits. — Trous de mine percés à la main à l'avancement, à la machine Ingersoll pour élargissement. Prix d'excavation, 50 fr. le mèt. cube.
Id.	4,08	5,79	Terrains houillers et conglomérats.	—	—	—	Prix du déblai : 47 fr. le mètre cube.
Id.	7,93	6,40	Terrain sans consistance, calcaire et gneiss.	—	—	—	Prix d'excavation : 41 fr. le m. cube.
Id.	3,73	4,28	Argile compacte.	Totale en briques.	177 330	1236	2 puits.
Id.	5,49	—	Schistes.	Id.	1 480 731	2169	Le déblai a coûté 1100 fr. le mètre courant.
Id.	7,95	6,19	Bancs de grès.	36m,6 en briques.	441 526	1858	L'excavation a coûté 1550 fr. le m. courant. — La maçonnerie a coûté 1660 fr. par m. cour. de revêtement.
Courbe de 194 mèt.	7,93	6,25	Argile plastique avec bancs de houille.	Tout en briques.	2 169 244	3624	L'excavation seule a coûté 1100 fr. le mètre courant.
Droit.	8,23	6,55	Schistes rouges.	Id.	415 106	2651	Nombreux accidents dus à des glissements.
Id.	5,93	5,27	Grès quartzeux désagrégé.	382 mèt. en maçonnerie.	597 982	1221	2 puits.— Tunnel élargi par la suite ; déblai à 27 fr. le mètre cube.
Droit.	7,92 / 7,31	6,40 / 5,64	Micaschistes, roches décomposées et gneiss granitoïde.	308 mèt. en maçonnerie.	51 400 000	6726	3 puits.
Droit.	4,88	5,92	Grès de dureté variable.	—	74 530 00	3511	Percé avec 3 puits inclinés.— Galerie d'avancement très-étroite à cause des eaux ; élargie ultérieurement.

NOM de LA LIGNE.	DÉSIGNATION du SOUTERRAIN.	ÉPOQUE de la CONSTRUCTION.	DURÉE de la CONSTRUCTION en mois.	LONGUEUR.	INCLINAISON des PENTES.	RAYON des COURBES.	LARGEUR LIBRE.
Louisville, Nashville et Great Southern.	1 voie.	1855-1860	26	375m	0,0133m	Courbe de 1909 mèt. de rayon.	4m,87
Baltimore et Potomac.	Baltimore (2 voies).	1871-1873	25	2117	0,0086 à 0,0132	Courbe de 436 mèt. de rayon.	8,23
Union Cy.	Baltimore (2 voies).	1871-1873	26	1036,9	0,012	Droit.	7,93

RAYON des COURBES.	LARGEUR LIBRE.	HAUTEUR LIBRE.	NATURE des TERRAINS TRAVERSÉS.	LONGUEUR revêtue en bois ou en MAÇONNERIE.	DÉPENSE TOTALE en francs.	DÉPENSE par MÈT. COURANT.	OBSERVATIONS.
Courbe 1909 mèt. e rayon.	4m,87	5m,49	Calcaire bleu.	Revêtu en bois.	413 806	1103,80	
Courbe 436 mèt. e rayon.	8,23	5,64	Roche et argile.	Revêtu en briques en totalité.	5 448 760	2573	322 mètres seulement ont été exécutés en souterrain, le reste en tranchées.
Droit.	7,93	5,94	Id.	Id.	4 3176 00	4165	

CHAPITRE VIII

ABRIS CONTRE LA NEIGE

Généralités.

Le froid beaucoup plus rigoureux à égalité de latitude en Amérique qu'en Europe, surtout sur le versant de l'Atlantique, place pendant l'hiver la plupart des chemins de fer des États les plus septentrionaux de l'Union et du Canada dans des conditions analogues à celles des chemins de fer du Nord de l'Europe et de la Russie en particulier, avec laquelle l'Amérique du Nord a plus d'un trait de ressemblance. La neige s'accumulant sur la plate-forme de la voie et sur les talus des tranchées, les grandes masses de glaces, charriées par les cours d'eau qui tendent à obstruer le débouché des ponts, menacent chaque hiver la circulation des trains de dangers d'interruption plus ou moins sérieux. L'exploitation doit être organisée pour y faire face, et des travaux d'une nature spéciale doivent en outre souvent être exécutés pour l'aider à les surmonter.

En voie courante, on fait en sorte de se maintenir autant que possible en remblai dans les régions plus particulièremeut exposées aux amoncellements de neiges. Dans les tranchées, où ils estiment que la gelée peut atteindre une profondeur de $1^{m},20$ sur les lignes les plus septentrionales, certains ingénieurs du Canada recommandent, pour prévenir le bouleversement de la voie au moment des dégels, d'exécuter un drainage sous la plate-forme au moyen de tuyaux descendus au moins à cette profondeur, indépendamment de l'élargissement donné à la plate-forme, ainsi que nous l'avons vu plus haut, pour pouvoir loger les masses de neiges éboulées dans les fossés ou retroussées de chaque côté de la voie par les chasse-neiges (*snow-ploughs*).

L'emploi de ces derniers appareils est courant sur la plupart des

lignes des États-Unis, et ils suffisent généralement, même à la traversée des Alleghanies, où certains points, en raison de leur altitude, sont particulièrement exposés aux encombrements de neige, pour assurer la permanence de l'exploitation, à la condition de le pratiquer en temps opportun.

Au Canada, cette permanence est plus difficile à obtenir. La neige, dans certaines parties du Bas-Canada et du Nouveau-Brunswick, recouvre complètement le sol, depuis le commencement jusqu'à la fin de l'hiver, avec une épaisseur moyenne de 1 mètre à $1^{m},20$. Sur les bords de l'Atlantique, notamment dans la Nouvelle-Écosse et dans l'île du Prince Edward, il y a des alternatives de gelée et de dégel; mais la neige tombe avec plus d'abondance, et elle est plus sujette à s'amonceler sous l'action du vent.

Le meilleur préservatif qu'on ait contre ces amoncellements est le voisinage des forêts, qui les prévient d'une manière presque absolue; malheureusement, à mesure que la colonisation fait des progrès, les forêts tendent à disparaître, et aucun obstacle n'arrêtant plus la neige, chassée par le vent sur les terrains cultivés, il n'est pas rare, pour peu que le terrain s'y prête, de rencontrer des amoncellements de neige de $3^{m},50$ à 4 mètres de hauteur.

Ces amoncellements occasionnent chaque hiver sur les chemins de fer canadiens des dépenses et des interruptions de service très considérables. L'exploitation du Grand Trunk Railway en a longtemps souffert; ils ont entravé d'une manière très sérieuse l'exploitation de l'Intercolonial Railway pendant les premières années, et forcé d'ajourner, pendant tout un hiver, l'ouverture du chemin de fer à voie étroite de l'île du Prince Edward.

La ligne du Pacifique ayant à franchir, au passage des Montagnes Rocheuses et de la chaîne du Nevada, des altitudes dépassant de plus de 1000 mètres les plus considérables qu'on ait atteint pour les chemins de fer en Europe, devait être plus que toute autre exposée à ce grave inconvénient, malgré la plus grande élévation de la région des neiges perpétuelles, qui ne commence guère qu'au-dessus de 3000 mètres. Nous avons déjà vu toutefois que ces deux chaînes de montagnes, qui atteignent sensiblement les mêmes hauteurs, présentent au point de vue du climat des différences très grandes. L'hiver, dans les Montagnes Rocheuses, est beaucoup plus court et moins rude que dans les montagnes du Nevada, où, sur le parcours de la ligne du Central Pacific, il arrive fréquemment de rencontrer

de la neige en juillet et août, et où les tourmentes de neige ont souvent une extrême violence.

On a eu recours, pour se garantir contre la neige, à des systèmes d'abris variant suivant les cas. Ces abris consistent, ainsi que ceux qui ont été établis en Europe à la traversée des Alpes et notamment dans diverses régions montagneuses de l'Allemagne du Sud et de l'Autriche, soit en écrans destinés à empêcher l'amoncellement de la neige chassée par le vent, soit en galeries couvertes résistant à la charge verticale de la neige, soit enfin en toitures sur lesquelles passent les avalanches entraînées sur des pentes plus ou moins abruptes.

Écrans. — Le système des écrans (*Snow fences*) a été surtout employé au passage des Montagnes Rocheuses, où, malgré le soin qu'on a pris de les éviter, se trouve un certain nombre de tranchées.

Ces écrans, au lieu d'être verticaux et pleins comme ceux que l'on trouve en Europe, où ils consistent souvent en murs en maçonnerie, sont en bois, inclinés et à claire voie, avec un retour d'équerre à la partie supérieure (pl. XXVI, fig. 7 et 8). Les flocons de neige, au lieu d'éprouver un choc brusque ayant pour effet de les forcer à se déposer en masse de part et d'autre de l'écran, sont progressivement infléchis et partiellement renvoyés vers le côté opposé de la tranchée; ceux qui se déposent du même côté que l'écran forment une couche d'épaisseur plus uniforme, et la tranchée est ainsi moins sujette à être envahie par leur amoncellement.

Les écrans sont généralement établis sur des files parallèles, et ils forment des panneaux amovibles de 5 à 6 mètres de longueur, qui peuvent être placés dans diverses directions, de manière à briser les courants d'air et à retenir entre eux les masses de neige, ainsi qu'on le voit par les figures 9 et 10 de la planche XXVI.

Leur légèreté permet de les enlever pendant l'été, et de restituer alors à la culture les terrains sur lesquels ils avaient été implantés.

Ce système d'écrans, bien qu'offrant des dispositions très rationnelles, ne paraît pas toutefois avoir complètement répondu à son objet, la neige étant souvent chassée sur le même point dans des directions très variables, ce qui l'empêche d'être suffisamment efficace dans un grand nombre de cas. Il tend aujourd'hui à dispa-

raître; on cherche généralement aujourd'hui à s'en dispenser en relevant le niveau de la voie, de manière à supprimer les tranchées.

Les écrans ne peuvent d'ailleurs prévenir que les amoncellements de neige causés par le vent, en agissant sur la neige comme le feraient des plantations.

Galeries. — Là où la neige tend à former par le seul fait de sa chute naturelle sur le sol des couches persistantes d'une grande épaisseur, ils sont remplacés par des abris en forme de galeries (*snow sheds*), construites à l'instar de celles qui, sur le Mont Cenis, ont servi à protéger le chemin de fer provisoire du système Fell. On rencontre principalement ces galeries couvertes à la traversée du Nevada, où l'épaisseur des bancs de neige pendant une grande partie de l'année ne descend guère au-dessous de 2 mètres, et dépasse souvent 4 mètres[1].

Les dessins, fig. 1 à 4, pl. XXVI, reproduisent les dispositions de ces galeries en charpente qui ont une hauteur libre de $5^{m},49$ et une largeur de $4^{m},88$. Ces dimensions, combinées avec le système de jours ménagés à la fois entre les bordages latéraux, qui s'arrêtent d'ailleurs à une certaine distance du sol, et dans les lanternes qui surmontent la toiture, assurent une ventilation très satisfaisante.

---

1. Le tableau suivant extrait du rapport de M. J. Gillis, qui a dirigé la construction d'une section du Central Pacific R. R. aux abords du faîte du Nevada, peut donner une idée du climat de cette région; il se rapporte à des observations faites pendant la construction de la ligne, près du Donner Lake, à une altitude de 2100 mètres.

INDICATIONS DES		NOMBRE DE CHUTES DE NEIGE		ÉPAISSEUR de neige tombée par mois.	ÉPAISSEUR DES COUCHES AMONCELÉES.	
années.	mois.	de moins de $0^{m},30$.	de plus de $0^{m},30$.		moyenne.	maxima.
				m.	m.	m.
1866	Novembre.	—	3	1.373	0.305	0.458
»	Décembre.	5	4	3.317	1.525	2.745
1867	Janvier.	7	3	3 367	2.440	3.203
»	Février.	5	3	3.138	3.050	3.863
»	Mars.	9	2	1.277	3.813	4.372
»	Avril.	1	1	1.068	1.068	4.600
»	Mai.	1	—	0.076	2.593	3.355
»	Juin.	—	—	—	0.915	1.830

On a constaté que la force du vent, pendant certaines tourmentes de neige, produisait une pression de 49 kilogrammes par mètre carré; le thermomètre baissait alors jusqu'à 15 degrés au-dessous de zéro.

Les fermes sont plus ou moins rapprochées, et formées de bois d'un équarrissage variable suivant les charges de neige qu'elles sont appelées à supporter; dans certaines galeries, les poteaux sont constitués par des troncs d'arbres.

Les revêtements en bois sont généralement interrompus à des distances qui varient entre 400 et 800 mètres par des revêtements en tôle galvanisée, destinés à empêcher la propagation des incendies. On étend chaque année, au fur et à mesure des ressources disponibles, ces revêtements métalliques.

Des panneaux amovibles, à coulisses et à charnières, sont disposés de place en place pour donner en été plus d'air et de lumière.

Les galeries couvertes ont aujourd'hui sur le Central Pacific une longueur totale de plus de 70 kilomètres; sur un parcours de 44 kilomètres, entre Strong's Cañon et la station d'Emigrant Gap, qui comprend quatre stations intermédiaires, elles règnent sans autre interruption que les ponts et les tunnels.

Dans le principe, les galeries couvertes ne devaient abriter que les tranchées profondes; on croyait pouvoir toujours dégager en temps opportun les autres parties de voies, à l'aide de chasse-neiges; mais l'expérience n'a pas tardé à démontrer la nécessité de multiplier les galeries couvertes et de les rendre absolument continues. Leur établissement a rendu extrêmement rares les interruptions de service sur le Central Pacific, où elles ont eu cependant à résister à des charges de neige de 3 à 6 mètres, parfois même de 15 mètres, près du faîte de la Sierra Nevada.

Il n'en a pas été de même sur l'Union Pacific, où l'on n'employait d'abord que des écrans pour s'abriter contre les amoncellements de neige; les interruptions y ont été assez fréquentes, surtout dans l'hiver de 1872 à 1873, pendant lequel des trains sont restés bloqués plusieurs jours par les neiges au passage des Montagnes Rocheuses, et la circulation y a été interrompue durant plusieurs semaines, tandis qu'elle ne l'était pas un seul jour sur le Central Pacific. Aussi a-t-on fini par construire une certaine longueur de galeries couvertes sur l'Union Pacific.

Ces galeries sont très économiques; elles n'absorbent pas en moyenne avec le bordage un cube de bois de plus de $1^{m^3},80$, non compris les lanternes, où il en est employé un mètre cube, et elles n'ont guère coûté par mètre courant, avec les revêtements métalli-

ques partiels, ajoutés après coup, plus que celles du Mont-Cenis, bien qu'ayant une hauteur deux fois plus grande.

Abris contre les avalanches. — Indépendamment de ces galeries à section symétrique par rapport à l'axe, il a été aussi construit dans les parties exposées aux avalanches, des toitures suivant le type représenté par les figures 5 et 6 pl. XXVI, présentant des inclinaisons variables suivant les cas. Ces charpentes, qui ont l'avantage de se prêter très bien à la ventilation, sont habituellement construites avec des bois d'un équarissage plus fort que les galeries précédemment décrites, et les fermes y sont beaucoup moins espacées; cet espacement varie entre $1^{m},40$ et $1^{m},60$, tandis qu'il est en moyenne de $2^{m},44$ dans les autres galeries. Le cube de bois employé varie naturellement avec le profil des tranchées; en général, il est d'environ $8^{m3},40$ par mètre courant.

Des tirants, scellés à l'une de leurs extrémités dans le rocher, sont destinés à prévenir la dislocation des fermes.

Précautions contre l'incendie. Pour prévenir les incendies auxquels ces divers systèmes de galeries couvertes sont encore exposés malgré les revêtements métalliques additionnels, il a dû être constitué un service spécial. Des trains de wagons, munis d'un attirail de pompes, sont toujours prêts à se porter sur les points où l'on signale un commencement d'incendie; ces trains doivent passer avant tous les autres; des gardes, postés à l'intérieur des galeries à des distances de 1500 à 2000 mètres, leur donnent par le télégraphe le signal d'alarme.

Sur le Central Pacific, ces trains de secours contre l'incendie (*fire trains*) stationnent en permanence aux gares de Blue Cañon, Emigrant Gap, Summit et Truckee.

Les postes télégraphiques d'alarme entre ces gares sont au nombre de vingt-six.

Les incendies deviennent moins fréquents à mesure que l'on construit de nouvelles longueurs de revêtements métalliques; mais il ne se passe guère d'année où il ne s'en produise.

En 1877, le feu a dévoré sur le Central Pacific 1446 mètres de galeries, dont près de 1000 mètres dans le seul mois de juillet. La voie même, plusieurs wagons et deux locomotives ont été détruits.

Malgré cet inconvénient, les avantages que présentent les galeries couvertes pour assurer la permanence de l'exploitation en temps de neige sont de plus en plus appréciés en Amérique. Sur la

ligne canadienne de l'Intercolonial, qui a été livrée à l'exploitation en 1876, à la suite des obstructions qui avaient interrompu le service de l'exploitation dans le premier hiver, on a pris le parti d'établir un certain nombre de ces galeries, principalement dans la Nouvelle-Écosse entre les stations de Londonderry et de Wentworth, en même temps que l'on construisait sur d'autres parties moins menacées de simples écrans dans le système décrit précédemment.

En résumé, les ingénieurs américains ont emprunté à l'Europe les abris contre la neige, mais en les adaptant aux conditions spéciales où étaient placées les lignes qu'ils avaient à construire, ce qui les a conduits à remplacer partout la pierre par le bois pour l'exécution de ces abris, et en les établissant sur une échelle tout à fait inusitée jusqu'alors, ils en ont tiré un parti tout nouveau. Grâce à l'emploi qu'ils ont fait des galeries couvertes, ils ont pu faire franchir à la voie ferrée des hauteurs qu'elle n'eût jamais osé aborder, et éviter par là la construction de longs souterrains dont l'exécution aurait retardé pendant de longues années l'ouverture de la ligne du Pacifique. La solution ainsi apportée aux difficultés que présente la traversée des hautes montagnes, essentiellement conforme à l'esprit à la fois hardi et pratique des Américains, qui les porte à accélérer par tous les moyens possibles la mise en exploitation des chemins de fer, en réservant à l'avenir le soin de les perfectionner, pourrait trouver vraisemblablement des applications dans d'autres pays.

L'établissement ultérieur de souterrains, combinant avec l'avantage d'une sécurité absolue celui de réduire la hauteur à franchir, devient alors pour les lignes qui ont de l'avenir une affaire de temps. Pour le chemin de fer du Pacifique en particulier, il a déjà été question d'un souterrain de 5 kilomètres de longueur, qui serait en outre utilisé pour conduire à San Francisco les eaux du lac Tahoe, et qui permettrait d'abréger le parcours de la ligne de 22 kilomètres, en abaissant de 300 mètres la hauteur du faîte à franchir à la traversée du Nevada.

CHAPITRE IX

CLOTURES ET PASSAGES A NIVEAU

CLÔTURES

On a déjà vu précédemment que les chemins de fer en Amérique, traversant en général avec une vitesse très modérée des pays peu peuplés et parfois même encore complètement inhabités, étaient par cela même affranchis, au moins au début, de beaucoup de sujétions imposées aux chemins de fer européens, qui ont beaucoup plus de ménagements à garder à l'égard des populations préexistantes. Ce qui se passe pour les clôtures et les passages à niveau en est un exemple.

Disons d'abord que c'est une erreur de croire que les chemins de fer en Amérique n'ont pas de clôtures. Il est vrai que, dans beaucoup d'États de l'Union, les chemins de fer ne sont que très imparfaitement clos ou ne sont même pas clos du tout, et que l'obligation d'établir des clôtures ne figure pas toujours dans les actes de concession; la question de l'opportunité de cet établissement ne se pose d'ordinaire qu'après l'achèvement de la voie, et elle est diversement résolue par les Compagnies, suivant le degré d'intérêt qu'il présente pour chacune d'elles.

Les clôtures sont considérées, même dans les États les plus préoccupés d'exercer un sérieux contrôle sur les chemins de fer, tels que ceux de New-York, Massachusetts et Pennsylvanie, comme destinées, moins à assurer la sécurité de l'exploitation contre les causes d'accident pouvant résulter de l'introduction des animaux sur la voie, qu'à garantir les Compagnies contre les réclamations d'indemnité des propriétaires riverains pour bétail tué ou blessé[1].

---

1. L'article 44 de l'Acte général du 2 avril 1850, réglementant les chemins de fer dans l'État de New-York, est ainsi conçu :

« La Compagnie établira et entretiendra, de chaque côté de la ligne, des clôtures de

Cette dernière responsabilité, expressément stipulée dans certains actes de concession, dont les Compagnies sont exonérées par la construction de clôtures, est donc le principal motif qui les décide à en établir.

Les indemnités payées aux propriétaires de bétail sur les lignes dépourvues de clôtures ont parfois atteint des chiffres considérables : la Compagnie du Louisville et Nashville R.R. a eu à en payer en une seule année pour plus de 200 000 francs. Aussi l'établissement de clôtures tend-il à se généraliser à mesure que la colonisation fait des progrès, l'élève du bétail étant toujours un article important des exploitations agricoles, et les clôtures figurent toujours pour un chiffre plus ou moins élevé dans les estimations des projets des nouvelles lignes.

Les clôtures consistent ordinairement, soit en haies vives, soit en poteaux plantés à 2 ou 3 mètres de distance, et reliés par quatre ou cinq lisses dont la plus élevée est à 1m,50 au dessus du sol, soit dans des lisses simplement superposées et disposées en plan en zigzag de manière à pouvoir tenir sans poteaux au moyen de simples chevilles ou de ligatures en écorce, comme on en trouve dans les contrées forestières du Nord de l'Europe, notamment en Suède et en Norwège. Ce système de clôtures est surtout pratiqué là où le terrain a peu de valeur, et où le bois est abondant.

Les bois préférés pour les clôtures sont le chêne, l'orme, le châtaignier.

Les clôtures sont fréquemment détruites par des incendies du-

---

« la hauteur et de la force des clôtures mitoyennes prescrites par la loi, avec les portes, « ouvertures et passages nécessaires pour l'usage des riverains ; elle devra aussi établir « des fossés pour arrêter le bétail (*cattle guards*) à tous les passages à niveau. Tant « que ces clôtures et fossés pour arrêter le bétail n'auront pas été établis, la Compa« gnie sera responsable de tous les dommages qui pourraient être causés par ses agents « et ses machines au bétail, chevaux et autres animaux ; cette responsabilité cessera à « partir de leur établissement, sauf en cas de négligence ou de malveillance manifestes.

« Toute personne circulant avec des chevaux ou du bétail sur la voie, autre part qu'à « la traversée des passages à niveau, sans le consentement de la Compagnie, sera pas« sible d'une amende, ne dépassant pas 10 dollars, et responsable de tous les dommages « qui pourraient être ainsi causés.

« Il sera défendu à toute personne autre que les employés de la Compagnie, de cir« culer le long de la voie, sauf là où elle emprunte des rues ou des chemins publics. »

Plus tard, en 1864, un autre acte de la législature, en transférant aux Compagnies fermières les obligations imposées aux concessionnaires primitifs, a admis qu'elles ne seraient tenues d'établir des clôtures qu'autant que ces clôtures seraient reconnues nécessaires pour empêcher le bétail de pénétrer sur la voie.

rant les sécheresses de l'été; sur l'Intercolonial du Canada, on en a remplacé en 1875 plus de 40 kilomètres sur la division Est de la ligne, qui a une longueur de 300 kilomètres.

Sur la ligne du Pacifique, il existe déjà des clôtures en Californie et dans une partie de la région des prairies qui commence à se peupler; leur extension dans la portion encore inhabitée de cette dernière région qui est parcourue par d'immenses troupeaux, courant en liberté, ne présente guère moins d'intérêt, à cause des dangers de déraillement auxquels l'introduction de ces troupeaux sur la voie expose les trains. Il est d'ailleurs démontré que l'appendice (*cow catcher*) destiné à rejeter les bestiaux hors de la voie, qui précède la locomotive, est loin d'être toujours efficace en pareil cas, et il est alors recommandé aux mécaniciens, par surcroît de précaution, de ralentir la marche des trains. Les clôtures elles-mêmes ne suffisent pas pour écarter tout danger; car, forcément interrompues au droit des passages à niveau, elles laissent pénétrer par ces passages les animaux, qui, une fois engagés sur la voie, continuent à la suivre lorsqu'ils sont poursuivis par les trains, en sorte que ces clôtures répondraient fort mal à leur destination, si une disposition additionnelle n'était pas prise pour interrompre transversalement la voie.

Cattle guards.— A cet effet, on établit, tant de chaque côté des passages à niveau que sur tous les points où l'introduction du bétail est à craindre, comme par exemple aux points où l'on passe du déblai au remblai, des fossés transversaux, dont les parois verticales sont formées par des masques en charpente, et que les rails franchissent sur des longrines (fig. 22, 23, 24, pl. IV). Pour faciliter le passage du personnel de la voie, des traverses étroites formant claire-voie et taillées en biseau à la partie supérieure sont posées sur les longrines qui supportent les rails.

Ces ouvrages, désignés sous le nom de *cattle guards* (garde-bestiaux), ont l'avantage non seulement d'empêcher les animaux de pénétrer sur la voie par les passages à niveau, mais encore de les forcer à se détourner latéralement, quand ils y ont déjà pénétré, et de les préserver ainsi de l'atteinte de la locomotive.

Leur introduction en Europe sur les chemins de fer secondaires, traversant dans des pays de paturages un grand nombre de chemins peu fréquentés, permettrait vraisemblablement d'y restreindre les passages à niveau gardés sans nuire à la sécurité de l'exploitation.

PASSAGES A NIVEAU.

Quant aux passages à niveau, le principe qui a prévalu jusqu'à présent est celui d'une entière liberté et d'un droit égal, pour les Compagnies comme pour les localités traversées, d'en établir où bon leur semble.

Les Compagnies sont bien tenues par les concessions de procurer en tout temps un passage libre et sûr à la circulation ordinaire (*to afford at all times a safe and free passage to the public travel*); mais cette obligation se réduit en réalité pour les Compagnies à un avertissement, donné aux passants par un écriteau placé au droit de chaque passage à niveau[1], de prendre garde aux trains.

Aux passages à niveau les plus fréquentés, les trains ralentissent leur marche, et leur approche est en outre annoncée par le sifflet de la locomotive ou le son de la cloche qui y est placée à la portée du mécanicien : des poteaux plantés le long de la voie et marqués d'un B (*bell*) ou d'un W (*whistle*), lui indiquent les points à partir desquels la cloche ou le sifflet doivent commencer à se faire entendre.

L'avertissement au moyen de la cloche ou du sifflet n'a d'ailleurs rien d'obligatoire. Il a été plusieurs fois jugé par les tribunaux dans divers États, à la suite d'accidents survenus à des passages à niveau, que le devoir d'une personne qui traverse la voie étant de faire attention aux trains, le défaut d'un semblable avertissement n'était pas de nature à dispenser les passants de ce devoir, ni à engager nécessairement la responsabilité des Compagnies.

Sur certaines lignes, pour faciliter aux voitures la traversée de la voie sans intercepter l'écoulement de l'eau dans les fossés, ceux-ci sont couverts par des planches dont la surface supérieure se raccorde avec le niveau de la voie. Les figures 20 et 21, planche IV,

---

1. Article 40 de l'acte précité de la législature de l'État de New-York : « La Compagnie fera placer des écriteaux portés par des poteaux ou autrement, au droit des « rues et chemins publics traversés à niveau par la voie. Ces écriteaux, disposés de manière à ne pas intercepter le passage et à être vus facilement des passants, porteront « écrits de chaque côté, peints en lettres capitales d'au moins $0^m,225$ de hauteur, les « mots : *Railroad crossing, look out for the cars.* » Cette prescription ne s'applique toutefois aux rues des villes et villages, qu'autant que la Compagnie aura été requise par les municipalités d'apposer de semblables écriteaux.

montrent les dispositions adoptées à cet effet sur la ligne du Cincinnati-Southern R.R.

Quant aux barrières, elles font généralement défaut. Quand il en existe, elles se réduisent le plus souvent à une simple barre manœuvrée par un gardien, chargé en même temps des fonctions d'aiguilleur. D'autrefois, ce gardien tient une chaîne, ou se contente simplement d'agiter un drapeau rouge pour signaler le passage des trains. A un passage à niveau très fréquenté de la ville d'Elizabeth sur le Central R.R. de New-Jersey, où il passait en 1876 jusqu'à 500 trains par jour, il n'existait encore à cette époque aucune barrière, et il fallait de la part de l'aiguilleur, chargé de la surveillance de ce passage, une vigilance et une activité tout à fait exceptionnelles pour prévenir les accidents.

Les municipalités ont de leur côté le droit, sur les voies ferrées en exploitation, d'établir des passages à niveau pour de nouvelles routes transversales, à la condition de faire tous les travaux nécessaires. Elles sont seulement tenues, dans l'État de New-York, de prévenir la Compagnie de chemin de fer trente jours à l'avance (acte de la législature du 29 mars 1853).

Ce régime de complète liberté, qui laisse chacun se tirer d'affaire à ses risques et périls, suivant le principe de conduite adopté par les Américains, et qui a été très favorable à l'établissement des chemins de fer, est sans inconvénient sérieux sur les lignes traversant des pays peu habités, comme c'est le cas le plus fréquent en Amérique; mais il a fini par susciter des plaintes de plus en plus vives dans les États de l'Est, où une colonisation plus avancée a considérablement accru l'importance et le nombre des voies de communication de toute sorte, en même temps que les exigences de la sécurité de la circulation.

Dans l'État de Massachusetts, le rapport de la Commission de contrôle des chemins de fer pour 1874 constate qu'on comptait déjà à cette époque en moyenne un passage à niveau tous les deux kilomètres, et que le nombre des accidents y croissait tous les ans. Dans les trois années qui avaient précédé la production de ce rapport, il y avait eu trente et une personnes tuées et trente-huit blessées en franchissant ces passages. La Commission concluait à ce qu'en raison du danger qu'ils offraient pour le public et de la gêne qu'ils imposaient à l'exploitation des chemins de fer, il ne fût plus admis de nouveaux passages à niveau qu'en cas d'absolue nécessité.

En 1876 la législature du Massachusetts, faisant droit aux observations de la Commission des chemins de fer, a décidé qu'à l'avenir il ne pourrait plus être établi de passage à niveau, soit par les municipalités, soit par les Compagnies, que sur l'avis conforme de cette Commission et d'une Commission judiciaire (*Court commission*).

Dès l'année 1864, la législature de l'État de New-York avait imposé une condition analogue à l'établissement des passages à niveau sur les grandes routes par les Compagnies, en stipulant qu'il ne pourrait être établi de voie ferrée sur le sol d'aucune grande route, sans l'autorisation de la cour suprême du district où la route est située, après consultation par cette cour des officiers municipaux préposés à la surveillance des routes.

Dans les États de Connecticut et de Pennsylvanie, l'opinion publique s'est également prononcée contre la multiplication des passages à niveau. Sur les lignes les plus importantes, comme celles qui relient Philadelphie à New-York, on a commencé à établir des barrières gardées; un certain nombre de ces barrières sont des barrières levantes avec contre-poids, manœuvrées simultanément de chaque côté de la voie à l'aide d'un mécanisme.

Sur le chemin de fer à voie étroite, construit à l'intérieur du parc de l'Exposition de 1876 à Philadelphie, pour en desservir les diverses sections, on remarquait un système de barrières ainsi manœuvrées qui semblait causer un certain étonnement aux visiteurs américains, notamment à ceux des États du Sud et de l'Ouest, habitués à voir le passage sur la voie ferrée complètement libre.

A New-York, où le chemin de fer de New-York Central et Hudson River pénétrait jadis assez avant à l'intérieur de la ville, on a reculé jusqu'à la quarante-deuxième rue la nouvelle gare centrale commune à ce chemin de fer et à diverses autres lignes, de manière à supprimer le passage à niveau des voies ferrées à travers plusieurs rues très fréquentées.

Les figures 17 et 18 de la planche IV montrent les dispositions actuelles de la plate-forme située successivement en déblai et en remblai, aux abords de la nouvelle station; des ponts, soit par-dessus, soit par-dessous les voies, assurent les communications d'un côté à l'autre du chemin de fer.

A Pittsburg, où les voies ferrées du Pennsylvania R.R. traver-

saient un grand nombre de rues à niveau, la municipalité a fini par se concerter avec la Compagnie pour la transformation de ces passages, qui ont maintenant presque entièrement disparu. Même chose a été faite à Saint-Louis, où aboutissent également un grand nombre de lignes de chemin de fer.

A Philadelphie, il existe encore beaucoup de rues traversées ou parcourues longitudinalement à niveau par les trains dans les quartiers excentriques, où la circulation est assez faible; on peut prévoir néanmoins que le moment n'est pas loin, où l'on devra se préoccuper de remédier aux inconvénients de la circulation simultanée des trains et des voitures ordinaires dans ces rues [1].

Il n'existe aucune règle au sujet de la distance à maintenir entre la voie ferrée et les constructions, et il arrive souvent que les flammèches projetées par la cheminée des locomotives allument des incendies, dont l'emploi habituel du bois pour les constructions, surtout en dehors des villes, augmente le danger.

La substitution de plus en plus générale de la houille au bois pour le chauffage des locomotives, et les toiles métalliques placées dans les cheminées des locomotives pour intercepter les flammèches, rendent aujourd'hui les incendies moins fréquents, et tendent ainsi à diminuer les charges de la responsabilité qui pèse sur les Compagnies en cas d'incendie, et dont les tribunaux n'ont jamais admis d'ailleurs qu'elles pussent s'affranchir complètement par l'introduction de perfectionnements dans la construction des locomotives ou par le choix du combustible.

En définitive, on peut dire que toute liberté est le plus souvent accordée au début aux chemins de fer à l'égard des clôtures et des passages à niveau, avec d'autant plus de raison dans un grand nombre de cas qu'ils sont les premiers occupants, et l'on attend pour restreindre cette liberté, que l'expérience en démontre la nécessité. Ces restrictions *à posteriori* qui tendent à placer les chemins de fer sous un régime voisin de celui des chemins de fer européens, là où les populations se trouvent dans des conditions à peu près semblables à celles que l'on rencontre en Europe, ne

---

1. Le Philadelphia-Reading R.R. notamment a sa station au centre de Philadelphie, et ses voies occupent sur une grande longueur la partie centrale des larges rues qu'elles parcourent.

Les règlements municipaux dans plusieurs villes de l'État de Pennsylvanie imposent au parcours des trains à l'intérieur des villes une limite de 4 milles ($6^k,40$) à l'heure.

sauraient ôter au système qui prévaut généralement son caractère propre, qui est de faire de la liberté complète la règle, et des règlements limitatifs, l'exception, en assimilant les chemins de fer aux autres voies de communication pour l'usage en commun du domaine public.

DEUXIÈME PARTIE

SUPERSTRUCTURE

CHAPITRE X

VOIE

Généralités.

Nous avons vu précédemment que les ingénieurs américains savaient, pour l'infrastructure des chemins de fer, se régler aussi bien sur l'importance des ressources mises à leur disposition, que sur les exigences du trafic et sur les conditions particulières aux pays traversés.

On ne s'étonnera pas de trouver, dans les différences que présente chez eux l'établissement de la voie, quand on passe d'une ligne à une autre, une nouvelle preuve de leur esprit pratique, toujours attentif à s'accommoder aux circonstances, et moins porté vers la généralisation systématique que vers l'appropriation à chaque cas particulier d'une solution spéciale.

Si, pour la superstructure comme pour l'infrastructure, certains types prédominent au milieu de la diversité des systèmes de construction, c'est que l'expérience a démontré leur aptitude à satisfaire aux conditions les plus habituelles, et qu'à mesure que l'extension des réseaux a multiplié les rapports entre les différentes lignes, on a senti davantage le besoin de faciliter ces rapports par l'adoption de types communs.

Les mêmes ingénieurs qui n'ont pas hésité à employer le bois à la construction des viaducs et au blindage des souterrains, en attendant qu'ils eussent les moyens de recourir à des matériaux plus durables, devaient naturellement attacher d'autant moins d'importance

à livrer la voie à l'exploitation dans l'état d'achèvement que l'on exige ordinairement en Europe, que la voie est ce qui comporte le mieux les améliorations en cours d'exploitation, sans entraîner d'interruption dans le service.

En fait, on peut dire que la variété des conditions dans lesquelles, sur tout le territoire nord-américain, a été établie la voie, dont tous les éléments, rails, traverses, ballast, appareils de changement, présentent encore aujourd'hui d'un point à un autre des différences marquées, a bien plus contribué à l'extension des voies ferrées en permettant de les adapter aux circonstances, qu'elle n'a diminué leur valeur comme instruments de transport par les entraves qu'elle a pu apporter aux communications entre les diverses lignes. Le seul obstacle qui avait été opposé imprudemment à ces communications par la variété des largeurs de voie, tend aujourd'hui à disparaître devant les efforts énergiques accomplis pour arriver à l'uniformité.

Nous verrons en effet, bientôt, qu'en quelques heures on a réussi à effectuer la transformation de la voie sur des longueurs considérables pour certaines lignes où l'importance du transit était de nature à justifier les dépenses occasionnées par une semblable transformation.

En général, l'état de la voie sur les chemins de fer en Amérique accuse la double tendance des ingénieurs à réduire d'abord la construction de la voie au strict nécessaire pour la circulation des trains, tant que les ressources disponibles ne permettent pas de faire plus, et à y introduire ensuite successivement tous les perfectionnements dont les frais sont susceptibles d'être couverts par les avantages à en attendre. Les détails dans lesquels nous allons entrer sur les divers éléments de la superstructure, nous fourniront l'occasion de citer de nombreux exemples de cette amélioration progressive de la voie, qui caractérise les chemins de fer en Amérique.

Largeur de voie. — Les chemins de fer de l'Amérique du Nord ont été construits avec des voies de largeurs très variées. Une liberté complète étant laissée aux Compagnies par les divers États et par le gouvernement fédéral à cet égard, les ingénieurs de chaque Compagnie, avec cet esprit dégagé de préjugés, beaucoup plus ami de l'innovation que de la règle, qui caractérise les Américains, se sont donné libre carrière pour choisir la largeur qui leur a paru la plus avantageuse, en raison de l'importance ou de la nature du

trafic. Sur l'Érié par exemple, sous l'influence des idées qui avaient conduit Brunel en Angleterre à adopter la voie de $2^m,13$, on a donné à la voie 6 pieds anglais, soit $1^m,83$. Au Canada, les lignes les plus importantes, notamment le Grand Trunk et le Great Western Railways, ont été établies avec la voie de $1^m,678$ (5′6″). Dans les États du Sud, le choix de la voie de 5 pieds ($1^m,525$), de préférence à la largeur normale de $1^m,435$, paraît avoir été déterminé par la nature encombrante des chargements, consistant principalement en coton, et aussi par une arrière-pensée politique, par la prévision d'une rupture avec les États du Nord.

Lynchburg (Virginie), Cincinnati (Ohio), Louisville (Kentucky), Saint-Louis (Mississipi), étaient jusque dans ces dernières années les points où cessait la voie de $1^m,435$, la plus commune dans les États du Nord, pour faire place à la voie de $1^m,525$, adoptée par les États du Sud.

Les différences minimes qui, surtout dans les États du Nord et de l'Ouest, existent souvent entre les largeurs de voie de chemins de fer voisins, n'ont parfois d'autre motif que leur rivalité ; c'est pour les Compagnies un moyen de se faire la guerre aux dépens du public.

Nous n'avons pas besoin de signaler les entraves résultant, pour les transports à longues distances, de cette variété de voies. On sait qu'elle a existé aussi un certain temps en Angleterre, où elle a disparu peu à peu à la suite d'une enquête parlementaire qui en avait révélé les inconvénients. En Amérique, les concessions relevant, non du Congrès, mais des législatures particulières des États, ceux-ci n'ont pas cherché à faire disparaître une variété qui servait parfois leurs prétentions rivales.

Entre la plus grande largeur qui est de 6 pieds anglais ($1^m,830$) et la plus petite, de 2 pieds 6 pouces, soit $0^m,763$, on rencontre les largeurs suivantes : $1^m,678$ (5′ 6″) ; $1^m,525$ (5′) ; $1^m,474$ (4′ 10″) ; $1^m,449$ (4′ 9″) ; $1^m,435$ (4′ 8 1/2″) ; $1^m,068$ (3′ 6″) et $0^m,915$ (3 pieds). Disons, de suite, que c'est la voie normale (*Standard gauge*) de $1^m,435$ qui est la plus répandue.

La voie étroite (*narrow gauge*) de $0^m,915$, principalement employée pour des chemins de fer construits dans les pays accidentés, s'étendait aux États-Unis, au commencement de l'année 1876, sur une longueur de 3168 kilomètres, et, à cette même époque, on projetait de l'adopter pour plus de 8000 kilomètres de nouvelles lignes.

Au Canada, les 1157 kilomètres de chemins de fer à voie étroite, construits au commencement de 1876, présentaient, pour la majeure partie, une largeur de voie de 1^m,068.

Transformation de la voie. — La voie large (*broad gauge*) c'est-à-dire celle de 1^m,83, qui a entre autres inconvénients celui de se prêter difficilement aux tracés en pays accidentés, tend à disparaître. Sur le chemin de fer de l'Érié, construit avec cette largeur de voie, qui, ainsi que nous l'avons vu plus haut, a un développement de 1516 kilomètres, dont 493 kilomètres sont à double voie, on a commencé la pose d'un troisième rail, correspondant à la voie normale, et la longueur de voie construite ainsi en 3 rails était déjà de 184 kilomètres à la date du 30 septembre 1875, et de 680 kilomètres à la fin de 1876.

Le chemin de fer canadien du Great Western, construit avec 1^m,678 de voie, a fait aussi ajouter sur toute l'étendue de sa ligne principale, qui est de 540 kilomètres, un troisième rail correspondant à la voie normale.

D'autres chemins de fer auxquels leur situation financière permettait d'accomplir la transformation de tout leur matériel roulant, se sont décidés à réduire leur largeur de voie, pour la ramener à la largeur normale adoptée par les lignes qui les entouraient, et faire ainsi cesser l'isolement relatif auquel ils se trouvaient condamnés par la sujétion des transbordements. A un jour donné, les Compagnies arrêtèrent la marche des trains sur toute l'étendue de leurs réseaux, et opérèrent la transformation de leurs voies avec une célérité qui mérite l'admiration [1].

Il va de soi que des changements faits en sens opposé, pour substituer une voie plus large à une voie plus étroite, étant susceptibles d'exiger des remaniements d'ouvrages d'art, présenteraient

1. La Compagnie de l'Ohio-Mississipi R.R. dont la ligne principale, de Cincinnati à Saint-Louis, a 547 kilomètres, avait été construite et livrée en 1857 à l'exploitation avec la voie de 1^m,83. Elle décida, le 28 janvier 1871, la transformation de son réseau en voie normale. Elle commanda quarante nouvelles locomotives pour voie normale, et fit transformer vingt-huit locomotives et sept cents wagons. Le 22 juillet de la même année, l'on débarrassa la voie principale de tout le matériel roulant, et, dans la seule journée du 23 juillet 1871, toute la ligne principale sur 547 kilomètres fut ramenée, par le déplacement des deux rails, à la voie normale.

La transformation du matériel roulant avait coûté 18000 francs par locomotive 750 francs par voiture à voyageurs et 225 francs par wagon de marchandises.

Le chemin de fer canadien du Grand-Trunk a fait en 1873 la même opération, qui

beaucoup plus de difficultés ; aussi n'en connaissons-nous aucun exemple.

Surécartement et surhaussement des rails dans les courbes. — Les ingénieurs américains suivent, pour le surécartement et le surhaussement des rails dans les courbes, des pratiques qui n'ont rien de bien précis ; sur beaucoup de lignes, le surécartement est de :

6	millimètres	pour	des courbures	de 450	mètres	à 300	mètres	de rayon.
12	»	»	»	300	»	225		»
19	»	»	»	225	»	150		»
25	»	»	»	de moins de		150		»

Le surhaussement du rail extérieur sur les mêmes chemins de fer est déterminé dans les courbes par la formule :

$$d = \frac{V^2 l}{126,5\ R};$$

d, étant en mètres la différence de niveau des rails,

v, le nombre de kilomètres parcourus en une heure par les trains, à la vitesse desquels on veut approprier la voie;

l, la largeur de voie exprimée en mètres et R, le rayon de la courbe, également exprimé en mètres.

Les écarts de vitesse des divers trains étant très grands (la vitesse varie en général du simple au double quand on passe des trains de marchandises aux trains de voyageurs), on se règle habituellement sur la moyenne des vitesses, en tenant compte de la fréquence de chaque catégorie de trains pour l'établissement de cette moyenne.

Le chemin de fer de Louisville et Nashville, construit avec une largeur de $1^m,525$. a fixé le surhaussement et le surécartement dans les courbes par un règlement, qui dispense le personnel chargé de l'en-

---

s'est accomplie le 3 octobre sur toute la ligne principale comprenant plus de 900 kilomètres. M. P. Hannaford, ingénieur en chef de la Compagnie, avait échelonné le long de la ligne environ huit mille ouvriers de la voie, aidés d'un nombre suffisant de manœuvres. Le dernier train circulant sur la voie large et allant vers Montréal, c'est-à-dire vers l'Est, arriva le 3 octobre à neuf heures et demie du soir dans cette ville.

Le premier train allant vers l'Ouest sur la voie normale quitta cette même ville le 4 octobre, à deux heures de l'après-midi, et arriva le 5 octobre, à une heure et demie du matin, au bord du lac Érié.

Le changement de la voie large en voie normale sur toute la ligne principale avait pu être ainsi fait en vingt-sept heures environ ; aux abords de Montréal, la modification de la voie avait été faite en seize heures.

tretien de se préoccuper de la courbure de la voie ou de la vitesse de marche à laquelle la voie doit être adaptée.

C'est la flèche répondant à une corde de 53 pieds (16^{m},16) de long, tendue sur la face intérieure du rail extérieur des courbes, qui donne la mesure des surhaussements et des surécartements.

Si la flèche est de moins de 6 millimetres, l'on ne donne aucun surécartement ; si elle atteint de 6 à 12 millimètres, l'élargissement doit être de 6 millimètres. Si elle dépasse 12 millimètres, l'élargissement est porté à 12 millimètres [1].

Quant au surhaussement du rail extérieur, on le fait égal à la flèche constatée au moyen de la corde de 16^{m},16.

La longueur sur laquelle s'effectue le raccordement avec les alignements entre lesquels est comprise la courbe dépend de la courbure ; elle est fixée à autant de fois 50 pieds qu'il y a de degrés dans l'angle définissant la courbure de la voie ; ce qui correspond à $l = \frac{266\ 50}{R}$; l étant la longueur sur laquelle doit s'effectuer le raccordement et R le rayon de courbure.

L'observation de cette règle, qui procure des raccordements d'une extrême douceur, devient d'ailleurs impossible pour peu que les courbes et contre-courbes se suivent de près.

Sur le réseau du Pennsylvania R.R., le raccordement se fait sur une longueur qui varie de 30^{m},50 à 45^{m},80 seulement avec le rayon des courbes.

Écartement des voies. — La réduction de l'entrevoie a été poussée d'abord sur les chemins de fer en Amérique jusqu'à l'extrême limite. Les voitures pour voyageurs n'ayant pas de portes latérales s'ouvrant vers le dehors, et les portes latérales des wagons à marchandises étant construites de façon à s'ouvrir sans sortir du plan qu'elles occupent, les motifs impérieux qui commandent un écartement d'au moins 3^{m},57 d'axe en axe des voies sur les chemins de fer européens, n'existent pas en Amérique.

Sur certains chemins de fer américains, l'espace libre entre les wagons de deux trains qui se rencontrent n'est que de 0^{m},40 environ.

Ce n'est que depuis quelques années que l'on cherche à l'aug-

1. La flèche de six millimètres correspond à un rayon de courbure d'environ 320 mètres ; celle de 12 millimètres, à un rayon d'environ 215 mètres.

menter, aussi bien sur les chemins de fer anciens que sur les nouveaux. Les chemins de fer à double voie étant assez rares, et ne se rencontrant guère que dans les États de l'Est, on s'est moins préoccupé qu'ailleurs des inconvénients et des dangers résultant du trop grand rapprochement des trains qui se rencontrent, soit pour les voyageurs, soit pour les employés de la voie et des trains.

Sur le réseau du chemin de fer de Philadelphia-Reading, l'écartement des voies n'est en général que de $3^m,26$ d'axe en axe. A la suite d'accidents arrivés à des voyageurs qui s'étaient penchés hors des fenêtres, on a dû garnir de barreaux les fenêtres de toutes les voitures.

Le chemin de fer Central of New-Jersey porte, dès qu'il procède à une réfection de voie, l'écartement des voies de $3^m,35$ à $3^m,65$; le chemin de fer de Pennsylvanie en fait autant pour ses voies n'ayant que $3^m,36$ d'écartement; cet écartement est maintenant porté à $3^m,71$.

Sur le Baltimore et Ohio R. R., l'écartement entre les axes des voies est aujourd'hui de $3^m,57$; la même largeur d'entre-voie de 7 pieds, soit $2^m,135$, se retrouve aussi sur le réseau de l'Érié, où l'écartement des axes des voies est de $3^m,97$.

Le New-York Central et Hudson R.R. a adopté une largeur d'entrevoie de $3^m,65$ sur certaines parties de ses lignes, et de $3^m,97$ sur d'autres.

Le chemin de fer de l'Alleghany-Valley, qui n'a de seconde voie que sur de faibles longueurs, a dès le début adopté l'espacement de $3^m,90$ d'axe en axe.

Les chemins de fer que nous venons de citer sont à voie normale, à l'exception de l'Érié, dont la voie est, comme on le sait, de $1^m,83$.

Celui de Louisville et Nashville, qui est à voie de $1^m,525$, a adopté un écartement de 4 mètres, qui correspond à une largeur d'entrevoie pareille à celle du chemin de fer de l'Alleghany Valley.

Il y a certains cas où l'établissement d'une plate-forme de largeur suffisante pour pouvoir y installer deux voies devient fort coûteux, lors même que l'entrevoie serait réduite au minimum strictement commandé par la largeur du matériel roulant.

C'est ce qui arrive, par exemple, lorsqu'un chemin de fer, passant sur des ponts ou viaducs construits pour une seule voie, doit être muni de la seconde voie. Le parti que l'on prenait jadis le plus souvent en pareil cas était de maintenir la voie unique sur la sec-

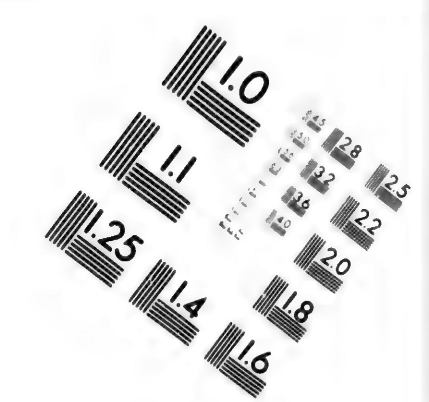
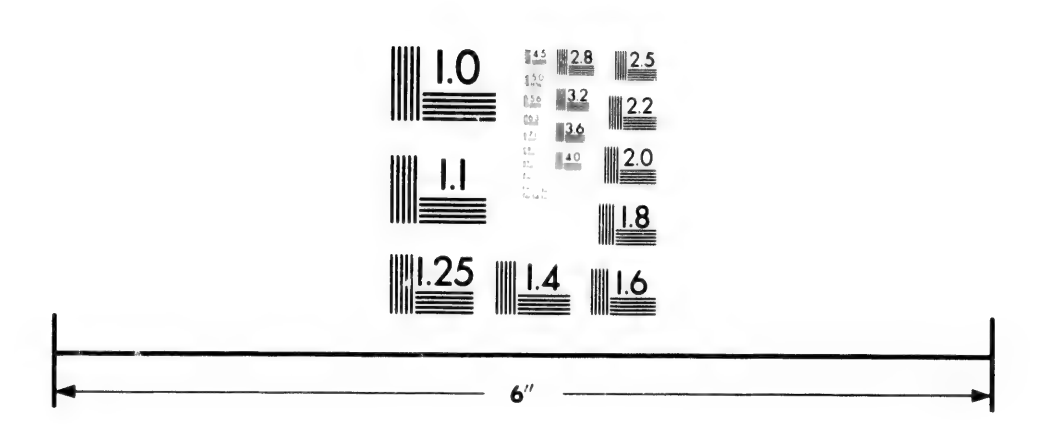


IMAGE EVALUATION
TEST TARGET (MT-3)



Photographic
Sciences
Corporation

23 WEST MAIN STREET
WEBSTER, N.Y. 14580
(716) 872-4503



tion de chemin de fer dans laquelle se trouvaient ces ouvrages d'art. En dehors de la sujétion qui résultait pour la marche des trains de ce maintien d'un tronçon à simple voie, intercalé dans une ligne à voie double, cette disposition entraînait une fatigue double des rails de la voie unique, et obligeait à établir des changements de voie à l'entrée et à la sortie de cette section.

On remédie maintenant à cet inconvénient par l'établissement de deux voies, écartées de 0m,15 à 0m,20 d'axe en axe environ.

Cette disposition se rencontre notamment sur certains ponts de la ligne de Philadelphie à Baltimore, non encore reconstruits pour deux voies.

Grâce à cette disposition, la continuité de chaque voie est maintenue et l'inconvénient de l'usure plus rapide des rails sur le pont disparaît. Aux abords du pont, les changements de voie sont remplacés par de simples croisements. La seule gêne qu'ait à subir l'exploitation, consistant en ce qu'un train ne peut s'engager dans la section à profil restreint qu'après que l'accès de cette section a été fermé aux trains venant en sens contraire, se trouve réduite à la longueur du pont.

Systèmes de voie.— L'Amérique, qui est comme on le sait la patrie du rail à patin, n'a pas cessé de donner à ce système de rail une préférence marquée, pour ne pas dire exclusive. Si l'on fait abstraction de quelques lignes très courtes, construites au Canada avec des rails à double champignon, et d'un certain nombre de ponts où les rails sont posés sur des longrines, on ne rencontre, sur toute l'étendue des États-Unis et des possessions britanniques, que la voie à rail à base plate, reposant sur des traverses en bois. Mais, à part l'adoption générale de ce rail, et l'écartement communément fixé à deux pieds (0m,61) d'axe en axe pour les traverses, on peut dire que l'état et le mode de construction des voies des chemins de fer présentent en Amérique la plus grande variété.

Depuis les chemins de fer rudimentaires, où des rails de très faible profil sont fixés sans aucune espèce d'éclissage sur des rondins en guise de traverses, jusqu'à la voie exécutée avec tous les perfectionnements connus en Europe, on peut parcourir en quelque sorte une échelle indéfinie.

Sur les chemins de fer à grand trafic, la pose de la voie tend de plus en plus à se faire avec joints en porte-à-faux (*suspended joints*).

Les chemins de fer, ayant introduit les joints en porte-à-faux, croi-

sent généralement les joints, c'est-à-dire qu'ils placent les joints dans l'une des files de rails en face du milieu du rail de la file opposée (*broken joints*).

Cette disposition présente l'avantage de mieux assurer la position des traverses voisines des joints. On pourrait toutefois lui reprocher de donner lieu à des oscillations transversales du matériel roulant. De fait, avec des joints bien établis, il est difficile de constater un effet de ce genre, et les ingénieurs qui ont introduit les joints croisés n'ont eu qu'à se louer de cette innovation.

BALLAST.

Sur les chemins de fer nouveaux, construits dans des conditions commandant la plus grande économie de premier établissement et une exécution très rapide, on trouve souvent les traverses simplement posées sur le sol naturel. Les enterrer jusqu'à la moitié de l'épaisseur, ou tout au plus jusqu'à leur niveau supérieur, est considéré comme un véritable luxe.

Ce n'est que plus tard, lorsque les recettes ont atteint une certaine importance, que l'on amène des carrières les plus voisines du sable, du gravier ou des pierres cassées, pour bourrer la voie et établir une couche de $0^m,15$ à $0^m,30$ de ballast sous les traverses. Le remplissage des intervalles entre les traverses marque en quelque sorte la prospérité croissante de la ligne; il n'est guère poussé au delà du niveau supérieur des traverses.

Le prisme de ballast présente habituellement à sa face supérieure une largeur égale ou peu supérieure à la longueur des traverses. Les têtes des traverses ne sont pas enterrées; elles restent presque toujours en vue. En réduisant ainsi le ballast à une largeur bien inférieure à celle que l'on croit généralement en Europe indispensable ponr la stabilité de la voie, les ingénieurs américains ne sont pas uniquement guidés par des considérations d'économie. Ils croient que la durée des traverses serait sérieusement compromise, si les têtes des traverses étaient enterrées, surtout lorsque le ballast est terreux ou argileux, ce qu'on ne pourrait souvent éviter qu'à grands frais. C'est en vue d'assurer la conservation des traverses que les règlements de certaines compagnies prescrivent de laisser visible au moins l'une des têtes des traverses.

Il est bien certain que la résistance au déplacement des traverses dans le sens de leur longueur n'est due qu'en très faible proportion au petit prisme de ballast qui garnit leur tête sur les chemins de fer Européens; c'est le frottement sur la face d'appui qui assure avant tout leur stabilité.

Les faits observés sur les chemins de fer américains le prouveraient au besoin.

Il y a toutefois un certain avantage à donner à la couche de ballast une largeur un peu supérieure à la longueur des traverses, en prévision du cas où, par l'effet d'une cause quelconque, comme, par exemple, des érosions produites par des pluies abondantes, les bords du prisme du ballast se trouveraient attaqués.

Sur le chemin de fer de Pennsylvanie, on n'admet le recouvrement des têtes des traverses par le ballast que lorsqu'il est constitué par de la pierre cassée; quand il consiste en gravier, on s'en tient au profil donné à droite de l'axe de la fig. 7, pl. IV. Sur le chemin de fer du Central Pacific, on voyait encore, plus de cinq ans après son ouverture, de grandes longueurs de voies incomplètement ballastées, et les traverses dépassant souvent le bord de la plate-forme.

Les trains avaient, dans l'intervalle, circulé à des vitesses de 30 à 35 kilomètres à l'heure sur ce chemin de fer, qui présente des courbes très raides, sans que le ballastage, incomplet sous tous les rapports, eût donné lieu à des accidents. Depuis l'ouverture, les bénéfices de l'exploitation sont annuellement consacrés en grande partie à l'amélioration de la voie, et en particulier au ballastage.

Le chemin de fer de Louisville et Nashville, qui lors de son ouverture en 1859 n'avait été que très incomplètement ballasté, était arrivé en 1875 à avoir, sur une ligne de 557 kilomètres, environ 360 kilomètres parfaitement ballastés, et il ne restait que 82 kilomètres entièrement sans ballast.

Sur le Pennsylvania R. R., le ballastage peut être considéré aujourd'hui comme complet sur toute l'étendue de la ligne principale, de Philadelphie à Pittsburg. Il en est de même sur la plus grande partie du Baltimore et Ohio R. R.

On tire le ballast, soit des carrières ouvertes lors de la construction du chemin de fer, soit des établissements métallurgiques situés le long de la ligne.

Lorsque l'on emploie du sable pur comme ballast, on pare à l'inconvénient, que présente ce ballast, d'être emporté par le vent, en

le recouvrant, soit de gravier, soit de pierres cassées ou bien de scories provenant des hauts fourneaux [1].

L'épaisseur de la couche de ballast sous les traverses est généralement fixée à $0^m,20$ et $0^m,30$; mais dans les tranchées ouvertes dans la terre glaise ou l'argile, sujettes à se boursoufler sous l'action de l'humidité et de la gelée, le chemin de fer Central of New-Jersey et d'autres portent l'épaisseur de la couche de ballast à $0^m,45$.

Les profils donnés pl. IV, fig. 1 à 7, 15 et 16, montrent les dimensions données au prisme de ballast sur les chemins de fer du Baltimore et Ohio, et du réseau Pennsylvanien. Ce ne sont pas du reste les seuls qui soignent le ballastage de leurs voies.

D'après les règlements pour le service de l'entretien sur les lignes du réseau Pennsylvanien, le ballast doit, entre les traverses, dépasser le niveau supérieur desdites traverses, de manière à former une réserve à la portée des ouvriers chargés du bourrage.

Autant que possible, la première couche de ballast est établie en pierres cassées plus grosses que celles de la couche supérieure, qui doivent passer dans un anneau de 5 centimètres. Là où le gravier est abondant, on fait en sorte, sur la ligne de Louisville et Nashville, que, dans l'axe de la voie, le gravier dépasse de $0^m,05$ les traverses.

La surface du ballast est réglée en pente vers les deux côtés, de manière à passer à $0^m,05$ en contre-bas des rails. Les arêtes extérieures du lit de ballast dépassent d'environ $0^m,15$ l'alignement des têtes des traverses; les talus du ballast sont réglés à 45 degrés, et l'on ménage généralement une berme de $0^m,15$ à $0^m,20$ au pied de ces talus pour empêcher la perte du ballast.

Le recouvrement des traverses par le gravier ou par tout autre ballast demeure expressément interdit [2].

On trouve des prescriptions analogues dans les instructions pour l'entretien de la voie en vigueur sur l'Atlantic et Great Western R. R., où il est recommandé de tenir la surface du ballast à $0^m,05$ en con-

---

1. Le chemin de fer de Virginia-Truckee (Nevada) transporte des masses considérables de minerai argentifère des mines aux usines Il est rapporté par la *Railroad Gazette*, que le ballast de cette ligne est tout particulièrement précieux par suite des déchets de minerai qui tombent en route des wagons sur la voie. Le mètre cube de ballast de cette ligne contiendrait en certains endroits jusqu'à 250 francs d'argent par tonne.

2. Règlement pour l'entretien de la voie du chemin de fer de Louisville et Nashville, 1877, § 11. (*The ballast must be filled up evenly between, but never abo vethe ties.*)

tre-haut du dessus des traverses au milieu, et à la même hauteur au-dessus de la face inférieure des traverses aux extrémités, et de laisser au delà de ces extrémités le ballast prendre son talus naturel.

TRAVERSES.

Sur les premiers chemins de fer construits en Amérique, notamment sur ceux de Boston et Lowell, et de Columbia, il a été fait, comme en Europe, pour l'assiette de la voie, divers essais de supports en pierre, soit sous la forme de sommiers en granite faisant l'office de traverses, soit sous celle de dés isolés ou de bordures continues reposant sur des lits de pierre cassée.

On a également essayé, sur le chemin de fer de Camden à Amboy, de substituer aux dés isolés en pierre des pieux de faible longueur portant les coussinets des rails.

On n'a pas tardé à renoncer à ces dispositions diverses, qui, principalement destinées à soustraire la voie aux bouleversements occasionnés par le dégel, n'ont jamais bien rempli leur but, et qui avaient l'inconvénient de rendre la voie beaucoup trop rigide, et l'on en est revenu aux traverses posées avec ou sans ballast. Comme, au début surtout de la construction des chemins de fer, le bois abondait dans les pays qu'ils traversaient, il était beaucoup plus naturel de chercher dans la multiplication des traverses le moyen de consolider la voie. La main-d'œuvre étant d'ailleurs encore plus chère que maintenant, on était naturellement porté, à mesure que les chemins de fer se développaient, à diminuer les soins apportés à l'établissement de la plate-forme, ainsi qu'à la préparation de l'assiette des traverses, et à y suppléer par l'accroissement de la surface d'appui de la voie.

Écartement des traverses. — Le rapprochement des traverses a permis à la fois d'augmenter la surface d'appui, et de réduire la portée libre des rails, comme il convenait de le faire avec des rails légers et des essieux très-chargés.

Malgré l'augmentation du prix des traverses qui s'est produite le long de certaines lignes, malgré le soin que l'on apporte maintenant sur les lignes à grand trafic à établir une bonne couche de ballast sous les traverses, malgré enfin l'augmentation du poids des

rails et la substitution des rails en acier aux rails en fer, l'écartement des traverses est resté en Amérique moindre que sur les chemins de fer d'Europe.

Sur la majeure partie des chemins de fer, l'écartement d'axe en axe des traverses est de deux pieds (0m,61) en moyenne. Sur le chemin de fer Central of New-Jersey, l'on rapproche les traverses de façon à ne laisser qu'un intervalle égal à leur largeur, ce qui réduit l'écartement d'axe en axe à 0m,50 ou 0m,56.

Le chemin de fer de Louisville et Nashville donne 0m,40 d'espacement aux traverses intermédiaires, et seulement 0m,35 aux traverses de joints et aux traverses voisines des joints dans les parties où les joints sont soutenus.

Lorsque les joints étaient en porte-à-faux sans croisement, l'espacement des traverses voisines du joint était de 0m,25. Depuis que la pose de la voie se fait avec joints en porte-à-faux qui se croisent, c'est l'écartement uniforme de 0m,60 d'axe en axe qui est adopté. Les traverses ont de 0m,20 à 0m,25 de largeur, et l'on compte de 1650 à 1800 traverses par kilomètre de voie.

Sur l'Intercolonial Railway du Canada, les traverses sont espacées de 0m,76 d'axe en axe, et elles ont 0m,20 de largeur et 0m,15 d'épaisseur.

Dimensions des traverses. — Sur les chemins de fer construits économiquement et à la hâte, comme il y en a tant en Amérique, les traverses présentent les dimensions les plus variées. Les billes de bois dont elles sont tirées ne sont pas débitées à la scie ; les faces des têtes ne sont guère perpendiculaires au sens de la longueur, et elles diffèrent entre elles non seulement en largeur et épaisseur, mais aussi en longueur.

Les traverses rebutées par les grandes Compagnies trouvent souvent un emploi dans les lignes en construction, où l'on n'a pas les moyens d'être aussi exigeant, et où elles peuvent suffire pour un commencement d'exploitation.

Lors de la pose, on tâche d'employer les traverses les plus droites et les mieux équarries près des joints.

Les chemins de fer pouvant consacrer plus de soins à la bonne exécution de la voie exigent des traverses de forme régulière, ayant de 0m,15 à 0m,17 d'épaisseur et de 0m,20 à 0m,27 de largeur à la base. Les faces de tête doivent être perpendiculaires au sens de la longueur, et toutes les traverses sont d'égale longueur.

Les chemins de fer à voie normale de $1^m,435$ ont des traverses de $2^m,40$ à $2^m,50$ de longueur, tandis que pour la voie de $1^m,525$, répandue dans les États du Sud, les traverses ont $2^m,60$ à $2^m,75$ de long. Sur les chemins de fer à voie étroite de $0^m,915$, leur longueur est réduite à $1^m,80$.

Les surfaces moyennes d'appui des traverses sur le ballast sont par mètre courant, pour ces trois largeurs de voie, qui sont les plus répandues, les suivantes :

	m.		m.q.
Pour la voie de	0,915,	par mètre courant......	0,72
»	1,435	» »	1,03
»	1,525	» »	1,13

Essence des bois. — Le chêne, si généralement employé pour les traverses de chemins de fer en Europe, l'est aussi très fréquemment aux États-Unis et au Canada, mais, grâce à l'abondance et à la variété des richesses forestières de ces deux pays, on rencontre bien d'autres essences de bois qui se prêtent tout aussi bien à la confection des traverses.

Au Canada, ainsi que dans les États de l'Est et de l'Ouest de l'Union américaine, les bois le plus fréquemment employés, concurremment avec le chêne blanc, qui est le plus estimé, sont le sapin noir (*black spruce*), le mélèze (*tamarac*), et le cèdre (*cedar*).

C'est le cèdre que l'on considère comme le bois le plus durable au Canada, où l'on estime sa durée à quinze ans; il a seulement l'inconvénient de ne pas bien tenir les chevillettes, ce qui en fait exclure l'emploi dans les courbes.

On n'évalue pas à plus de cinq ans la durée moyenne du sapin (*hemlock* et *spruce*).

Quant au mélèze, ses excellentes qualités le font autant apprécier en Amérique qu'en Europe.

On sait que le mélèze présente sur le chêne, qu'il égale au point de vue de la durée, l'avantage d'être moins sujet à se fendre par l'action alternative de l'humidité et de la sécheresse et par suite de l'enfoncement des chevilles. Il est seulement inférieur au chêne, en ce qu'il se mâche plus facilement au passage d'essieux très chargés.

Le cèdre jaune (*yellow cedar*) se rencontre fréquemment dans le Wisconsin, où il est mis sur le même rang que le chêne blanc. On estime qu'il peut résister pendant dix ans au plus fort trafic. Il ne

coûte guère que moitié prix du chêne, sur les bords du Green Bay[1].

Dans les États du Sud dominent le cyprès blanc et le *pitch-pine*, et dans les États du Pacifique le sequoia (*redwood*) et le pin de l'Orégon.

Dans le Sud, le cyprès blanc est plus estimé que le chêne, qui à cette latitude n'acquiert pas les qualités qui le font rechercher ailleurs. On évalue la durée du cyprès blanc à près de trois fois la durée du pin de la Floride; cet arbre vient très bien dans tous les États du Sud, et les troncs ayant de $1^m,25$ à $1^m,50$ de diamètre à la base, et présentant encore, à une hauteur de 16 à 22 mètres, de 1 mètre à $1^m,20$ de diamètre, sans branches, ne sont pas rares. Le prix du cyprès blanc n'est guère que d'un tiers supérieur à celui du pin.

Outre le cyprès blanc, il y a aussi le cyprès rouge et le cyprès noir; mais ces essences sont moins propres à fournir des traverses de chemin de fer. Le rouge n'a généralement pas des dimensions suffisantes pour permettre un débit avantageux, et le noir pèse beaucoup plus que le blanc, ce qui en rend le transport coûteux[2].

Le *redwood* est inférieur au chêne sous le rapport de la durée: par contre, il présente l'avantage d'être plus élastique, et il assure par ce motif, mieux que le chêne, le maintien des chevillettes fixant les rails.

Le bois de pin ne le cède en rien à ce point de vue au *redwood*, mais ses fibres se mâchent plus encore que celles du mélèze sous les chocs qui lui sont transmis par les rails.

Les traverses en sapin tendre (*hemlock*) ne se rencontrent que sur les chemins de fer ne pouvant se procurer des bois de meilleure qualité, et à titre provisoire.

Dans quelques contrées, on trouve des traverses en noyer, en merisier, en châtaignier et en frêne. Quant au hêtre, il n'est guère employé sans avoir subi une préparation destinée à en augmenter la durée.

---

1. *Railroad Gazette* du 29 novembre 1878.

2. Le cyprès vient dans les plaines qui bordent les rivières, et l'on se sert généralement du flottage pour le transport des bois. Le cyprès noir ayant un poids spécifique considérable, on est obligé d'attacher les bûches de ce bois à des bûches de bois plus légers, tels que le genévrier ou le sapin. — Ces sujétions du transport augmentent le prix de revient.

On admet, en général, que les traverses en chêne ne doivent pas recevoir du rail une pression de plus de 28 kilogrammes par centimètre carré; cette pression est réduite à 21 et 17 kilogrammes pour les autres essences. C'est en partant de ces chiffres que l'on règle, d'après la charge des roues motrices, la largeur des traverses et leur écartement, ou bien la largeur du pied des rails.

Conservation des traverses. — Le renouvellement des traverses d'un chemin de fer entraîne des dépenses de deux natures : des dépenses de fournitures et des dépenses de mise en œuvre.

Même dans les localités où le bois abonde, où il n'a pour ainsi dire pas de prix, tant qu'il est sur pied, le prix très élevé de la main-d'œuvre a fini par conduire à la recherche des moyens propres à augmenter la durée des traverses.

Les soins donnés au drainage du corps de la voie ont pour but principal la conservation des traverses. Il en est de même du choix du ballast et de la défense de recouvrir les traverses avec du ballast[1].

Pour diminuer les chances de pourriture, on bouche sur diverses lignes les trous que présentent les traverses; le personnel de la voie est muni de chevilles en bois, qui doivent être enfoncées dans les trous que laissent les clous ou les chevilles retirées lors du renouvellement des rails.

Dans la région du Pétrole, en Pennsylvanie, on enduit de cette huile les traverses aux endroits où les rails s'appliquent; sur quelques chemins de fer, on substitue le goudron à l'huile de pétrole.

Indépendamment de ces précautions prises pour la conservation des traverses, une fois qu'elles sont posées, on cherche depuis quelques années à prolonger la durée des bois par une préparation préalable.

C'est sur les côtes de l'Atlantique et du Pacifique que les premiers chantiers pour l'imprégnation des bois ont été établis. On a commencé par appliquer des procédés de conservation aux bois destinés à des travaux maritimes et à la construction des navires, pour les mettre à l'abri du ver taret, qui se rencontre dans tous les

1. On a constaté sur le chemin de fer Central Pacific que les traverses en sapin, posées dans la région des Eaux amères, sur un sol qui renferme beaucoup de sels alcalins, notamment du sulfate de magnésie, se conservaient beaucoup mieux que partout ailleurs.

ports de l'Atlantique, et plus encore dans ceux de l'Océan Pacifique, et l'on est passé ensuite à la préparation des traverses de chemin de fer. Il existe déjà un assez grand nombre de chantiers pour cette préparation. Tout récemment un grand établissement de ce genre pour l'imprégnation à l'huile de goudron vient d'être fondé à Elisabeth, sur le chemin de fer Central of New-Jersey.

En 1873, le nombre de brevets délivrés pour des procédés de préparation de bois dépassait déjà 50, et il a dû sensiblement s'accroître depuis cette époque.

L'un des premiers procédés introduits en Amérique a été le procédé *Bethell*, depuis longtemps appliqué en Angleterre, où l'on emploie, comme on le sait, l'huile de goudron.

On sait que pour faire pénétrer cet antiseptique dans l'intérieur du bois on introduit les pièces à injecter dans un cylindre, que l'on ferme hermétiquement, et qui peut supporter une pression intérieure de 6 à 8 atmosphères.

La profondeur à laquelle pénètre l'huile de goudron, ainsi que la quantité absorbée, est plus ou moins considérable suivant l'essence et l'état de dessiccation du bois. Lorsque le bois est bien sec et bien écorcé, la matière antiseptique peut pénétrer presque jusqu'au cœur des pièces de bois équarries.

D'après un rapport de M. F. J. Arnold[1], le sulfate de cuivre aurait été aussi employé avec succès sur certains points; cependant, c'est l'huile de goudron qui a toujours donné les meilleurs résultats.

Parmi les divers procédés d'imprégnation imaginés en Amérique, nous croyons devoir signaler ceux de M. M. *Seely* et *Robins*. Tous deux se servent comme Bethell de l'huile de goudron.

Le professeur Seely provoque la pénétration des bois en les immergeant dans l'huile de goudron chauffée à une température variant de 100 à 150 degrés centigrades.

Cette haute température détermine l'évaporation de l'eau contenue dans le bois. Dès qu'elle est atteinte par toute la masse, on remplace le goudron chauffé par du goudron froid, pour que le vide, qui se fait par la condensation de la vapeur, remplissant les pores du bois, y détermine la pénétration de l'huile de goudron. On voit que l'humidité du bois ne nuit pas à la facilité de l'imprégnation

1. San Francisco, 1873.

faite d'après le procédé Seely; suivant l'essence des bois et les dimensions des pièces injectées, l'absorption varie de 60 à 190 kilogrammes d'huile de goudron par mètre cube.

Quant à M. Robins, il opère avec les vapeurs d'huile de goudron. Il commence par bien écorcer les bois, qui sont ensuite introduits, comme dans le procédé Bethell, au moyen de wagonnets, dans un cylindre susceptible d'être hermétiquement clos. Sous l'action de la vapeur d'eau à basse température, il se fait tout d'abord un lavage et un ramollissement de la surface. Le bois subit ensuite successivement l'action de la vapeur d'eau surchauffée, destinée à opérer la dessiccation, et celle des vapeurs d'huile de goudron.

On a soin toutefois de n'introduire, dans le récipient qui renferme les bois, que les vapeurs qui se développent après que la température a dépassé 100 degrés.[1]. Le goudron est maintenu à des températures variant entre 100 et 200 degrés centigrades pendant plusieurs heures, pour que le bois reste soumis à l'action de ces vapeurs. Ce n'est que 10 à 12 heures après que l'on a cessé le chauffage du goudron, que l'on retire les bois.

L'étude comparative du procédé Bethell et des deux procédés américains précités a conduit M. Arnold, qui expérimentait sur des pieux en chêne, à reconnaître que l'absorption de l'huile lourde de goudron était par mètre cube suivant le procédé employé :

Procédé Bethell : de 159 kilogrammes;

Procédé Seely : de 65 kilogrammes;

Procédé Robins : de 16 kilogrammes.

La profondeur de la pénétration de l'antiseptique dans le bois ayant été à peu près la même dans les trois cas, M. Arnold conclut en faveur du procédé Robins, qui consomme le moins d'huile de goudron. En effet, ce n'est pas la quantité d'huile de goudron introduite qui importe le plus pour la conservation des bois, car une très faible proportion d'acide phénique, environ un cinq millième, suffit pour prévenir la décomposition des matières azotées. Le bois ne contient qu'environ 4 pour 100 de matières sujettes à entrer en fermentation : c'est donc à la pénétration dans toutes ses parties, et non à l'augmentation de la quantité de l'antiseptique introduite, qu'il y a lieu de s'attacher pour prévenir la pourriture.

1. L'huile de goudron soumise à une température inférieure à 100 degrés C. donne principalement des vapeurs ammoniacales et des vapeurs d'huile légère de naphte qui ne sont pas propres à l'imprégnation.

Prix des traverses. — Il ne peut guère être parlé d'un prix moyen des traverses de chemin de fer. Les prix diffèrent essentiellement suivant les localités, et ce sont les frais de transport jusqu'à l'endroit où se fait la livraison qui représentent généralement la plus forte partie du prix à payer. Vient ensuite le prix de la main-d'œuvre d'abatage et de débit, et ce n'est qu'en dernière ligne et dans une proportion bien faible que figure le prix du bois proprement dit.

Aussi est-on frappé du peu de différence de prix qui existe entre les bois de qualités très diverses. Ainsi, pour une fourniture de 60 000 traverses provenant des États de Mississippi et d'Alabama, faite en 1877 au port d'Indianola (Texas), les prix payés par traverse étaient de 4 fr. 85 pour le pin, et de 6 francs pour le cyprès blanc. Les transports par mer de la scierie jusqu'au lieu de fourniture entraient pour 2 fr. 25 et 2 fr. 50 dans ces prix.

Sur les grands entrepôts, ayant des débouchés pour tous les bois, et desservis par des voies navigables, les différences de prix suivant l'essence des bois sont plus marquées : à Buffalo (État de New-York), situé sur le lac Érié à l'entrée du canal Érié, le mètre cube de bois de construction coûte environ 39, 44, et 62 francs, suivant qu'il s'agit du sapin, du pin ou du chêne. Ces prix sont plus élevés de 7 à 15 francs pour l'intérieur de l'État de New-York, et ils atteignent 55, 65 et 85 francs pour l'intérieur de l'État de Pennsylvanie.

Chicago, situé sur le lac Michigan et recevant dans son port les navires des lacs Huron et Supérieur, tous bordés de grandes forêts, est un des entrepôts les plus importants pour le commerce des bois. Les prix des bois de construction en grume y varient pour les essences de sapin, de pin et de chêne, de 20 à 27 francs le mètre cube [1].

Sur la côte du Pacifique, le mètre cube de *red wood* en grume se paye de 35 à 55 francs, suivant les facilités d'accès que présente le port dans lequel il est livré.

Sur les chemins de fer traversant des forêts et n'exigeant pas des

1. Le bois de construction se vend généralement aux États-Unis aux 1000 pieds *Board Measure*. Un pied *Board Measure* est un parallélipipède ayant un pied carré pour base, et un pouce, soit un douzième de pied, pour hauteur. Les 1000 pieds B. M. correspondent à 2^{mc},26 soit environ 2 1/4 mètres cubes.

traverses régulièrement équarries, le prix par traverse fournie aux dépôts varie de 1 fr. 50 à 2 francs ; dès qu'elles ont à subir des transports, le prix augmente sensiblement : ainsi le prix de revient sur le chemin de fer de l'Union Pacific, lors de la construction de cette ligne, était, pour les traverses en sapin, que l'on se procurait sur le parcours même de la ligne, de 2 fr. 50 en moyenne, tandis que les traverses en chêne, qui exigeaient un certain transport, revenaient à 4 francs. Le rapport entre les quantités de traverses en sapin et en chêne ayant été de 8 à 1, le prix moyen des traverses est ressorti à 2 fr. 70.

La ligne de Louisville et Nashville, qui au commencement payait ses traverses à raison de 2 francs, les paie maintenant, depuis qu'elle est plus exigeante pour la forme et la qualité (elle n'admet plus que le cyprès blanc, le chêne ou le châtaignier), à raison de 3 fr. 50.

Le chemin de fer du Cincinnati-Southern a payé récemment ses traverses en chêne blanc, cubant environ $0^{m^3},08$, au prix moyen de 2 francs.

RAILS.

Forme ou section des rails. — Le premier rail à base plate a été imaginé en 1830 par Robert Stevens pour la ligne de Camden à Amboy (État de New-Jersey) ; il fut exécuté dans une usine en Angleterre.

L'histoire de ce rail, dont l'usage s'est répandu en Europe, grâce à l'appui que lui a donné l'éminent ingénieur anglais Vignoles, est d'autant plus intéressante, qu'elle montre que l'inventeur se rendait dès le début parfaitement compte de ses conditions de résistance.

Robert Stevens voulait donner une largeur variable à la base du rail. Elle devait être de 72 millimètres entre les traverses, et de 102 millimètres aux points d'appui sur les traverses. L'écartement des traverses prévu était de 2 pieds ($0^m,61$) d'axe en axe, c'est-à-dire exactement celui qui est le plus communément adopté aujourd'hui.

Les usines anglaises auxquelles Stevens adressa le dessin de ce rail, dessin que nous reproduisons pl. XXIX, fig. 1, 2 et 3, refusèrent de l'exécuter, à cause de la difficulté de faire varier la largeur

de la base. Stevens dut renoncer à cette forme et se résigner à donner à son rail une section uniforme, un peu supérieure à celle qu'il avait prévue pour les portées libres seulement.

Pour assurer la continuité de la file des rails, Stevens avait déjà introduit des éclisses; il ne leur demandait toutefois que d'empêcher les déplacements latéraux des têtes des rails. Chaque rail devait porter, ainsi que l'indiquent les figures 2 et 3, à l'une de ses extrémités, une éclisse percée de deux trous en tout. Elle était fixée au moyen d'un rivet au rail, tandis que la moitié de l'éclisse dépassant ce rail devait être assujettie contre le rail suivant au moyen d'une vis. Les rails devaient avoir de 12 à 16 pieds, soit de 3^{m},66 à 4^{m},88 de long.

Le cahier des charges communiqué aux usines invitées à soumissionner, était des plus simples : il stipulait que les rails seraient fabriqués en fer de la meilleure qualité, laminés conformément au gabarit, et percés à chaque bout d'un trou, ainsi que l'indique le dessin.

La première commande devait être de 500 à 600 tonnes; mais, si la fourniture s'effectuait d'une manière satisfaisante, on faisait espérer une commande de 2500 à 3000 tonnes.

Le rail exécuté en Angleterre à la suite de cette adjudication présentait une largeur de base de 83 millimètres; l'âme du rail avait de 12 à 13 millimètres d'épaisseur. Nous n'avons pas pu nous procurer le dessin exact du profil de ces rails, mais nous avons eu entre les mains un bout de rail provenant de cette fourniture, faite en 1831, et posée dans la même année sur le chemin de fer de Camden à South-Amboy. Le rail dont il s'agit avait servi d'abord pendant vingt ans sur une voie principale, puis, pendant vingt autres années, sur une voie de garage. Nous reproduisons (pl. XXIX, fig. 4) la section transversale de ce rail, dont le défaut de symétrie doit être attribué en partie à l'usure et à l'écrasement. Le poids du mètre courant de ce rail à l'état d'usure est d'environ 19^{k},60.

Le rail à patin, tel qu'on le rencontre aujourd'hui en Amérique, se distingue surtout du rail européen de même système par sa légèreté et par sa forme trapue. N'attachant pas une importance absolue à obtenir une rigidité, que la mauvaise assiette de la voie, établie le plus souvent sans ballast et insuffisamment entretenue, ne comportait pas, et que la flexibilité du matériel roulant, circulant d'ailleurs avec de faibles vitesses, rendait moins nécessaire, les

ingénieurs américains ont pu se contenter de rails légers avec d'autant moins d'inconvénient, que le rapprochement des traverses permettait à la voie de mieux épouser les ondulations de la plate-forme, en répartissant les charges sur un plus grand nombre de points[1]. Quant au profil du rail, dont le champignon est souvent ramassé en forme de poire (*pear head*), son adoption paraît avoir été motivée surtout par des considérations de fabrication, ce profil se prêtant mieux à une compression énergique dans l'opération du laminage. Il devient de jour en jour plus rare, à mesure que se généralise l'emploi du joint en porte-à-faux avec lequel il est incompatible.

Sur tous les chemins de fer, la tendance a été en général vers l'augmentation de la résistance de la voie, et de celle des rails en particulier. On a augmenté le poids des rails en fer, ou bien (et c'est le cas le plus fréquent) l'on a remplacé les rails en fer par des rails en acier d'un poids à peu près égal à celui des rails en fer.

Le chemin de fer à voie étroite de $0^m,91$, de Denver et Rio Grande, construit avec des rails en fer d'un poids par mètre courant de $14^k,7$, le plus faible que l'on connût en Amérique, à part quelques rares exceptions se rapportant à des chemins à voie plus étroite encore, a introduit, dans ses parties les plus accidentées, des rails en fer pesant $17^k,2$ par mètre courant (pl. XXIX, fig. 5).

Le chemin de fer Central Pacific avait débuté par un rail en fer de $24^k,8$ par mètre courant; il est passé bientôt au rail en fer à profil en forme de poire pesant $27^k,77$ par mètre courant; le profil de ce rail est reproduit pl. XXIX, fig. 6. Dans le but d'introduire les joints en porte-à-faux dès que la consolidation de la plate-forme le permettrait, on a adopté ensuite le profil que nous donnons pl. XXIX, fig. 7.

Il y a quelques années, on a de nouveau modifié le profil des rails en fer, auxquels on donne maintenant $29^k,76$ par mètre courant, et l'on introduit progressivement le rail en acier sur la voie principale.

Il en a été de même sur le chemin de fer du Lehigh Valley; du rail en fer, représenté pl. XXIX, fig. 9, qui pesait $28^k,77$, on est passé au rail en fer (fig. 10), pesant $32^k,74$ par mètre courant, introduit

1. Cette remarque a déjà été faite par M. l'inspecteur général Couche dans son ouvrage : *Voie, matériel roulant et exploitation des chemins de fer*, t. I, p. 67.

d'abord sur les sections à fortes rampes, puis étendu peu à peu à tout le réseau.

Le chemin de fer de Louisville-Nashville avait commencé par un rail de $29^{k},75$ dont nous donnons le profil (pl. XXIX, fig. 12); il a substitué l'acier au fer en réduisant le poids par mètre courant à $28^{k},77$. (Pl. XXIX, fig. 13.)

Un chemin de fer de construction récente, le Cincinnati-Southern R.R., se sert de rails en fer, ou de rails en acier, suivant le profil de son tracé. Les rails en fer pèsent $29^{k},75$ par mètre courant; leur profil (pl. XXIX, fig. 23) a été choisi en vue d'un mode d'assemblage particulier (système Fisher), sur lequel nous reviendrons en parlant de l'éclissage. Le rail en acier pèse $26^{k},27$; il a la forme donnée par la fig. 22.

Le chemin de fer de Philadelphia, Wilmington et Baltimore, ayant, à cause de son trafic considérable, un très grand intérêt à s'assurer une voie résistante, s'est arrêté au rail en acier (pl. XXIX, fig. 18), qui pèse $29^{k},26$ par mètre courant.

Sur le réseau Pennsylvanien, qui, sous tous les rapports, peut être cité comme un des plus avancés, on ne pose plus que des rails en acier sur les lignes principales. Dans les parties à faibles déclivités, on emploie le rail (pl. XXIX, fig. 19), pesant $29^{k},75$; dans les parties accidentées, le rail (pl. XXIX, fig. 20) pesant $33^{k},22$.

Citons encore, pour compléter la série des exemples de profils de rails que l'on rencontre sur les chemins de fer en Amérique, le rail en acier de l'Érié, pesant $29^{k},83$ par mètre courant (pl. XXIX, fig. 30), le rail en fer du chemin de fer Central of New-Jersey, de $31^{k},00$ (pl. XXIX, fig. 8), et le rail en fer de l'Illinois Central, de $30^{k},26$ par mètre courant.

L'Intercolonial R^{y} du Canada, tout récemment construit, a sa voie posée entièrement en rails d'acier Bessemer de $28^{k},38$ par mètre courant (pl. XXIX, fig. 33), sur une longueur totale de 804 kilomètres. Dans le principe, on avait projeté pour cette ligne des rails en fer pesant environ 34 kilogrammes; on les a abandonnés pour leur substituer des rails en acier, plus légers et moins chers, qui présentent avec une résistance égale l'avantage d'une bien plus longue durée.

Choix de la matière. — L'acier se substitue comme on le voit sur une très large échelle au fer, pour la fabrication des rails.

Tant que la différence de prix entre l'acier et le fer était très sen-

sible, il n'y avait que les chemins de fer à très grand trafic et se trouvant dans des conditions financières favorables qui pouvaient employer les rails en acier. A présent, il n'est guère de chemin de fer en Amérique à profil accidenté, et exploité par suite avec de lourdes machines, qui n'emploie, au moins pour les sections de la ligne dans lesquelles sont situées les plus fortes déclivités, des rails en acier.

Les 125 600 kilomètres de chemins de fer construits à la fin d'octobre 1877 renfermaient environ 7 100 000 tonnes de rails, dont près de 1 800 000 tonnes, soit 25 pour 100 environ, étaient en acier[1].

Les rails en fer, retirés des voies principales pour être remplacés par des rails en acier, sont généralement employés dans les voies de garage. Souvent les nouveaux chemins de fer achètent ces vieux rails en fer pour réduire leurs frais de premier établissement, mais, dès que leurs moyens le leur permettent, ils passent au rail en acier.

Le chemin de fer Central Pacific n'admet plus que le rail en acier pour les renouvellements de la voie principale qui, sur toute son étendue de $1420^k,5$, finira par être entièrement en rails de ce métal[2]. Dans le courant de l'exercice 1874, on avait remplacé 3064 tonnes de rails en fer par des rails en acier; en 1876, il y avait déjà 320 kilomètres de voie ainsi transformée.

Le chemin de fer du Lehigh Valley, qui dessert un mouvement de charbon très considérable, a déjà plus de la moitié de ses voies en rails d'acier. Lorsque ce chemin de fer a commencé la transformation

1. Le tableau suivant donne une idée du développement de la fabrication des rails en acier Bessemer depuis 1872, année à partir de laquelle elle a commencé à compter en Amérique :

ANNÉES.	NOMBRE DE TONNES.
1872	49 000
1873	129 000
1874	145 000
1875	300 000
1876	400 000
1877	420 000

2. En 1876, le Congrès a prescrit une vérification de la longueur de la ligne principale du chemin de fer Central Pacific : cette vérification a fait reconnaître que cette longueur était exactement de $1421^k,7$, c'est-à-dire de $1^k,2$ supérieure à celle qui avait servi de base à l'émission des « *bonds* » (obligations). — *Poors'Manual*, 1877, p. 668.

de sa voie, les rails d'acier présentaient bien des imperfections disparues depuis, grâce aux progrès de la fabrication. Dans le cours de l'année qui suivit la pose des huit premiers kilomètres de voie en acier, on constata trente-trois ruptures de rails. En 1875, il n'y avait plus qu'une seule rupture sur 37 kilomètres de voie en rails de ce métal.

Des attachements très précis, tenus par la Compagnie du chemin de fer du Lehigh Valley sur une voie conduisant à un pont à bascule, ont fait ressortir l'énorme avantage que présente le rail en acier sur le rail en fer.

Des rails en fer, posés en 1867, ont dû être renouvelés au bout d'une année pendant laquelle ils avaient supporté le passage de 2 263 675 tonnes. On les a remplacés par des rails en acier, qui sont encore en bon état, bien qu'il y ait passé 24 300 000 tonnes, c'est-à-dire près de onze fois la charge qui avait mis les rails en fer hors de service.

Sur le chemin de fer de Louisville-Nashville, on a trouvé que, pour les rails en fer de très bonne qualité, il fallait compter sur un renouvellement de 590 kilogrammes de rails par 100 000 tonnes kilométriques de trafic, tandis que, pour des rails en fer de qualité moyenne, ce chiffre s'élevait jusqu'à 1087 kilogrammes.

Le chemin de fer de Philadelphia-Reading avait essayé, en 1876, de combiner le fer et l'acier en exécutant des rails en fer à tête d'acier. Cette combinaison n'a pas donné de meilleur résultat en Amérique que les essais semblables faits sur les chemins de fer européens. On y a définitivement renoncé. Les rails tout en acier que ce chemin de fer emploie maintenant donnent les résultats les plus satisfaisants : ainsi, dans la station de Reading, sur une voie tellement fréquentée et fatiguée que les rails en fer n'y duraient qu'environ quatre mois, il y a des rails en acier qui résistent depuis sept années.

Usure des rails. – Des observations très minutieuses ont été faites sur l'usure des rails en acier sur le chemin de fer Atlantic et Great-Western, sous la direction de M. Ch. Latimer, par M. H. C. Thompson, qui en a rendu compte dans une réunion des ingénieurs de la voie, tenue à Kent (Ohio), le 26 octobre 1876. Son rapport, publié dans la *Rail Road Gazette* du 16 mars 1877, nous a fourni les éléments du tableau suivant :

NUMÉROS D'ORDRE.	PROVENANCE de l'acier.	DURÉE de L'OBSERVATION. Ans.	.	PENTE ou rampe en m.m. par mètre.	ALIGNEMENT droit ou courbe d'un rayon de :	SURÉLÉVATION du rail extérieur.	NATURE du ballast.	POSITION du rail dans la voie.	POIDS DU RAIL par MÈTRE COURANT lors de la pose.	lors de la vérification.	P[illegible] POIDS par mètre courant.
				m.	m.	m.			kilogr.	kilogr.	
1		4	11	12,12	218,4	0,15	Schiste.	Extérieur.	32,736	29,172	3,614
2		4	11	12,12	218,4	0,15	Id.	Id.	32,736	30,610	2,126
3		4	11	6,63	Droit.	—	Id.	—	32,736	32,0[illegible]	0,691
4		4	8	0,95	Id.	—	Sable.	—	32,736	32,1[illegible]	0,573
5		4	7	5,60	291,3	0,11	Gravier argileux.	Extérieur.	27,775	27,1[illegible]	0,607
6		4	7	5,60	291,3	0,11	Id.	Intérieur.	27,775	27,064	0,711
7		4	7	—	291,3	0,19	Gravier.	Extérieur.	27,775	27,2[illegible]	0,503
8		4	7	—	291,3	0,19	Id.	Intérieur.	27,775	27,064	0,711
9		4	7	5,60	Droit.	—	Gravier argileux.	—	27,775	27,1[illegible]	0,607
10	Anglais.	4	7	—	436,9	0,13	Id.	Extérieur.	27,775	27,2[illegible]	0,555
11		4	8	3,50	291,3	0,11	Sable.	Id.	32,736	32,0[illegible]	0,691
12		4	8	3,50	291,3	0,11	Id.	Intérieur.	32,736	32,2[illegible]	0,479
13		4	5	4,55	436,9	0,08	Gravier argileux.	Id.	32,736	30,929	1,807
14		4	5	4,55	436,9	0,08	Id.	Extérieur.	32,736	31,780	0,956
15		4	4	4,73	873,8	0,04	Sable.	Intérieur.	32,736	31,88[illegible]	0,850
16		4	4	4,73	873,8	0,04	Id.	Extérieur.	32,736	32,098	0,638
17		4	4	4,73	349,5	0,09	Id.	Id.	32,736	31,83[illegible]	0,903
18		4	4	4,73	349,5	0,09	Id.	Intérieur.	32,736	32,20[illegible]	0,532
19		4	4	4,17	527,8	0,06	Id.	Extérieur.	32,736	31,83[illegible]	0,903
20		4	4	4,17	527,8	0,06	Id.	Intérieur.	32,736	31,74[illegible]	0,992
21		2	—	12,51	349,5	0,06	Gravier argileux.	Extérieur.	30,079	29,44[illegible]	0,638
22	Bessemer	2	—	12,51	349,5	0,06	Id.	Intérieur.	30,079	29,86[illegible]	0,213
23	américain.	2	—	13,26	436,9	0,05	Id.	Id.	30,079	29,76[illegible]	0,319
24		2	—	13,26	436,9	0,05	Id.	Extérieur.	30,079	29,[illegible]	0,425
25		2	—	10,41	Droit.	—	Id.	—	30,079	29,7[illegible]	0,319
26		4	5	4,55	Id.	—	Id.	—	32,736	32,15[illegible]	0,585
27	Anglais.	5	—	—	218,4	0,18	Gravier.	Extérieur.	32,736	30,45[illegible]	2,284
28		5	—	—	218,4	0,18	Id.	Intérieur.	32,736	31,4[illegible]	1,327

Le tableau ci-dessus fait ressortir l'influence du surhaussement du rail extérieur sur le rapport entre l'usure du rail extérieur et celle du rail intérieur. En effet, dans la plupart des cas, suivant que ce surhaussement est supérieur ou inférieur à celui qui devrait être

PERTE de POIDS DU RAIL.		VITESSE MOYENNE DES TRAINS en kilom. par heure.		TONNES passées sur la voie durant l'observation.	USURE du rail par kil. courᵗ et par 100 000 t. en kilogr.	OBSERVATIONS.
par mètre courant.	En pour 100 du poids initial.	Voyageurs.	Marchandises.			
					kilogr.	
3,614	11,04	56,4	32,2	13 450 824	26,87	Les rails nᵒˢ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 27 et 28, étaient dans des voies de $1^m,83$ (6 pieds); ceux nᵒˢ 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 et 26, étaient dans des voies de $1^m,458$ (4′ 9 3/8″).
2,126	6,49	56,4	32,2	13 450 824	15,80	
0,691	2,11	56,4	32,2	13 450 824	5,14	
0,573	1,75	72,5	32,2	10 234 308	5,60	
0,607	2,18	56,4	32,2	3 987 038	15,22	
0,711	2,56	56,4	32,2	3 987 038	17,83	
0,503	1,81	56,4	32,2	3 987 038	12,62	Les rails avaient 28 pieds ($8^m,54$) de long, sauf les nᵒˢ 5, 6, 7, 8, 9 et 10, qui n'avaient que 27′ ($8^m,235$), et les nᵒˢ 4 et 20, qui avaient 26′ ($7^m,930$) le premier, 30′ ($9^m,150$) le dernier.
0,711	2,56	56,4	32,2	3 987 038	17,83	
0,607	2,18	56,4	32,2	3 987 038	15,22	
0,555	2,00	56,4	32,2	3 987 038	13,92	
0,691	2,11	72,5	32,2	10 234 308	6,75	
0,479	1,46	72,5	32,2	10 234 308	4,68	
1,807	5,52	72,5	32,2	8 764 096	20,62	Les rails 5, 6, 7, 8, 9, 10, 21, 22, 23 et 24, avaient des joints en porte-à-faux.
0,956	2,92	72,5	32,2	8 764 096	10,91	
0,850	2,60	72,5	32,2	8 598 736	9,88	
0,638	1,95	72,5	32,2	8 598 736	7,42	
0,903	2,76	64,4	32,2	8 598 736	10,50	
0,532	1,62	69,2	32,2	8 598 736	6,19	
0,903	2,76	64,4	32,2	8 598 736	10,50	
0,992	3,03	64,4	32,2	8 598 736	11,54	
0.638	2,12	24,2	12,9	3 968 648	16,07	
0,213	0,70	24,2	12,9	3 968 648	5,37	
0,319	1,06	24,2	12,9	3 968 648	8,03	
0,425	1,41	24,2	12,9	3 968 648	10,71	
0,319	1,06	24,2	12,9	3 968 648	8,03	
0,585	1,79	64,4	32,2	8 764 096	6,67	
2,284	6,98	64,4	32,2	10 965 330	20,83	
1,327	4,05	64,4	32,2	10 965 330	12,10	
					$11^k,887$	

donné en raison de la vitesse des trains, c'est sur le rail intérieur ou sur le rail extérieur que porte principalement l'usure.

La moyenne de l'usure des rails en acier, ressortant du même tableau, qui est de $11^k,887$ par kilomètre de rail et par 100 000 tonnes

de trafic, correspond à une usure de $23^k,774$ par kilomètre de voie et 100 000 tonnes de trafic.

Ce chiffre ne peut pas être mis en regard du chiffre donné précédemment pour le chemin de fer de Louisville-Nashville et se rapportant à des rails en fer, car, tandis qu'il s'agissait pour ce dernier chemin de fer du poids des rails retirés de la voie pour cause de défauts, le dernier tableau ne donne que la mesure de l'usure proprement dite, à laquelle il faudrait ajouter le poids des rails qui ont dû être remplacés à cause de cette usure, pour pouvoir comparer les chiffres et en déduire des rapports entre la durée des rails en fer et la durée des rails en acier.

Prix des rails. — La différence de prix entre les rails en acier et les rails en fer est loin d'être en rapport avec la différence de résistance. Elle ne l'était pas lors de l'introduction des rails en acier, époque à laquelle l'acier était beaucoup plus cher que le fer; à plus forte raison, depuis que la différence de prix est devenue insignifiante, et qu'une fabrication perfectionnée a accru la résistance des rails en acier, les avantages de ceux-ci sont-ils hors de proportion avec leur excédant de prix.

Ainsi que nous l'avons déjà remarqué en parlant du choix de la matière employée pour la fabrication des rails, le prix des rails, tant en fer qu'en acier, a subi une baisse progressive dans ces dernières années; mais la baisse a été bien plus forte pour les rails en acier que pour les rails en fer. C'est ce qui ressort des exemples suivants relatifs à différents chemins de fer et à diverses époques[1]:

NOM du CHEMIN DE FER.	PRIX PAR TONNE DE RAIL		RAPPORT DES PRIX DES RAILS	
	en fer.	en acier.	en fer.	en acier.
		Prix payés en 1875.		
Union Pacific............	246 fr. »	344 fr. 40	100	140,00
Cincinnati-Southern......	259 » 60	379 » 70	100	145,05
		Prix payés en 1878.		
Louisville-Nashville.......	187 fr. »	206 fr. 60	100	110,05

1. On trouvera plus loin, au chapitre des *Prix de revient*, un tableau donnant les prix des rails en fer et en acier pendant ces vingt dernières années.

Le prix des rails aux usines était, d'après la *Rail Road Gazette* du 25 juillet 1879 :

Rails en fer par tonne	190 à 195 fr
Rails en acier par tonne	220 à 230 »

C'est-à-dire dans le rapport de 100 à 116,87.

La baisse considérable des rails en acier doit être attribuée, non seulement aux perfectionnements apportés dans la fabrication de ce métal, mais aussi à la concurrence faite aux rails en fer, à la suite d'une entente qui s'est établie à cet effet entre les grandes usines produisant l'acier. Ainsi que cela arrive généralement lorsque la coalition succède à la concurrence, il est fort probable que cette coalition des usines à acier, une fois qu'elle aura abouti à ruiner les établissements fournissant les rails en fer, conduira à un relèvement des prix de l'acier[1], à moins que la coalition ne s'étende de manière à comprendre aussi les usines à fer, ce qui pourrait amener une hausse générale du prix des rails.

L'un des obstacles qui s'opposent encore à la généralisation de l'emploi des rails en acier, c'est la difficulté de remployer les vieux rails, comme cela se fait pour les rails en fer. La recherche d'un procédé aboutissant à ce résultat préoccupe aujourd'hui tous les métallurgistes.

---

1. Onze grandes usines à acier s'étaient liguées pour vendre leurs produits à des prix assez bas pour réduire au minimum l'emploi des rails en fer. En novembre 1877, elles vendaient la tonne de rails en acier à raison de 196 à 206 fr. aux chemins de fer qui avaient à leur portée des usines fabriquant des rails en fer, tandis que les usines n'ayant pas à redouter la concurrence des rails en fer portaient leurs prix à 255 et 260 fr. la tonne de rails en acier. Ces usines privilégiées étaient toutefois tenues de verser environ 10 fr. par tonne d'acier dans une caisse commune, destinée à subventionner celles qui, se trouvant aux prises avec les usines à fer, vendaient les rails en acier à environ 200 fr. la tonne, ce qui leur permettait à peine de couvrir leurs frais. Cette lutte a tourné à l'avantage des consommateurs, non seulement des rails en acier, mais encore des rails en fer, car le prix des rails en fer a baissé jusqu'à 172 et 157 fr. la tonne. En comparant le prix moyen des rails en fer (164 fr. 50) à celui des rails en acier (257 fr. 50), on voit que le rapport des prix était arrivé à être de 100 à 156.

Les usines à acier ont été montées pour une très grande production, qui explique à la fois la réduction du prix de revient des rails et la nécessité dans laquelle elles se trouvent de s'assurer des débouchés considérables. Nous citerons comme exemple la Pennsylvania Steel Company, à Harrisburg, qui a pu fabriquer en une semaine (du 3 au 10 novembre 1877) 5688 rails en acier Bessemer, pesant ensemble 1643 tonnes. En un seul jour de cette même semaine, la production avait été de 1044 rails, pesant 31k,25 par mètre courant, ce qui représente une production journalière de 307 tonnes.

C'est à cause de cet avantage présenté par le fer, ainsi qu'en raison de l'économie qu'il procure dans les dépenses de premier établissement, qu'un certain nombre de chemins de fer ont pris, il y a quelques années, des mesures qui prouvent bien qu'ils ne songent pas à abandonner les rails en fer.

L'Union Pacific, par exemple, qui exploite entre Omaha et Ogden une longueur de 1658 kilomètres, achetait jusqu'en 1875 ses rails en fer, livrés à Omaha (tête Est de la ligne), dans les usines situées sur la rive gauche du Missouri, au prix de 254 francs la tonne. Il leur revendait ses vieux rails en fer, livrés également à Omaha, au prix de 103 francs la tonne. Dans ces conditions, les transports étaient naturellement considérables, vu la grande longueur de la ligne. En 1875, la Compagnie a établi à la station de Laramie, qui se trouve à 920 kilomètres d'Omaha, un laminoir destiné à réutiliser les rails en fer retirés de la voie. Ce laminoir, dont les comptes sont tenus à part, se fait payer 91 francs par tonne les rails neufs, en s'obligeant à fournir 84 de rails neufs pour 100 de vieux rails qui lui sont livrés dans l'établissement.

En partant du prix obtenu antérieurement à Omaha par tonne de vieux rails, et eu égard au déchet de 16 pour 100, le prix de revient des rails fabriqués à Laramie s'établit à 103 fr. $\times \frac{100}{84} + 91 = 213$ fr. 62 la tonne. La différence d'environ 40 francs en faveur de la fabrication à Laramie se trouve augmentée ou diminuée suivant que les distances de transport des vieux ou des nouveaux rails sont supérieures ou inférieures à celles qu'ils auraient à parcourir pour arriver à Omaha. Toujours est-il que, Laramie se trouvant presque au milieu de la ligne, les distances de transport moyen sont réduites de 830 kilomètres à environ 420 kilomètres, ce qui, avec le prix de transport en régie qui est fixé à 3 centimes par tonne et par kilomètre, porte en moyenne à 67 francs par tonne l'économie réalisée par l'établissement du laminoir de Laramie. Construit pour une production de 20 000 tonnes par an, les frais d'établissement de ce laminoir ont été de 1 062 000 francs.

Longueur des rails. — La longueur des rails à laquelle on s'est arrêté sur les chemins de fer en Amérique est de 30 pieds, c'est-à-dire $9^{m},15$. Ce n'est pas la difficulté du laminage[1] qui a imposé cette

1. Nous avons vu dans plusieurs établissements préparer les loupes pour trois lon-

limite, mais celle du réglage de la dilatation sous l'influence des grandes variations de température auxquelles sont exposés les rails. On peut admettre en général des variations de 80° centigrades, ce qui pour des longueurs de 9^{m},15, fait une variation de longueur de 0^{m},01 environ.

La diminution du nombre des joints, avantage incontestable de l'augmentation de la longueur des rails, n'a certes pas échappé aux ingénieurs américains, et il faut admettre que la longueur de 9^{m},15 leur a paru un juste milieu, tenant compte, dans une proportion convenable, des avantages et des inconvénients de cette augmentation.

Épreuves subies par les rails et garanties. — Tandis que les épreuves que subissent les rails en fer ont pour but principal de s'assurer de leur résistance à la flexion, les épreuves auxquelles on soumet les rails en acier doivent garantir en outre leur dureté.

Le chemin de fer du Cincinnati-Southern exige que les rails en fer, dont nous avons donné le profil (pl. XXIX, fig. 23), résistent aux épreuves suivantes :

Posés librement sur deux appuis écartés de 4 pieds (1^{m},22), ils doivent pouvoir supporter pendant 5 minutes un poids de 7 tonnes et demie suspendu à mi-distance entre les appuis, sans que la flèche sous la charge dépasse 6^{mm},25, et sans que la flèche permanente atteigne un quart de millimètre.

La charge portée au double, soit à 15 tonnes, ne doit pas produire la rupture du rail.

Le rail ayant subi avec succès ces épreuves est cassé en deux, et chaque moitié, posée sur les mêmes appuis, doit pouvoir subir sans rupture le choc d'un mouton de 270 kilogrammes, tombant de 1^{m},83 de haut sur le milieu.

Les cassures doivent montrer une bonne qualité et une bonne répartition du fer à grain et du fer fibreux.

L'agent réceptionnaire a le droit d'essayer cinq rails sur mille. Lorsque ces cinq rails ne donnent pas des résultats satisfaisants, il est procédé à l'essai de cinq autres rails pris sur le même mille,

gueurs de rail, et ne les couper en trois qu'avant le passage au laminoir finisseur. A l'Exposition de Philadelphie en 1876, il y avait des rails de 100′ = 30^{m},50 de long, qui ne laissaient rien à désirer sous le rapport du laminage.

qui doit être définitivement refusé, si cette seconde série d'essais n'est pas plus satisfaisante que la première[1].

Les rails en acier du chemin de fer de Philadelphia, Wilmington et Baltimore (pl. XXIX, fig. 18), doivent pouvoir subir sans rupture le choc d'un mouton de 1000 kilogrammes, tombant de 5 mètres de haut au milieu de l'écartement des appuis, espacés de trois pieds ($0^m,915$).

Dans un essai de ce genre auquel nous avons assisté, le rail s'est infléchi de 76 millimètres sans se rompre ni présenter de déchirure.

Pour se rendre compte de la dureté de la tête des rails en acier, cette même compagnie procède de la manière suivante : un ciseau pesant 18 kilogrammes, et dont la tranche présente la forme d'un demi-cercle, tombe d'une hauteur de $1^m,25$ sur la face supérieure de la tête du rail. L'empreinte faite par la tranche du ciseau est plus ou moins longue, suivant que l'acier est plus ou moins tendre. La somme des longueurs d'un certain nombre de ces empreintes permet la comparaison, au point de vue de la dureté, des diverses fournitures de rails. Les différences entre les longueurs des empreintes faites sur les têtes des rails donnent la mesure de l'uniformité des rails sous le même rapport.

En général, les compagnies de chemins de fer se réservent le droit de surveiller la fabrication des rails, et elles exigent en outre une garantie pour leur durée.

Pour les rails en fer, les usines garantissent habituellement une durée de trois ans : ne sont toutefois pas compris dans la garantie les rails posés à l'intérieur et aux abords des stations jusqu'à une distance de 1 kilomètre. Aux termes des traités, les usines s'engagent à payer environ 125 francs par tonne de rails retirés avant la fin du délai de garantie pour défauts de fabrication; les rails mis hors de service restent la propriété des chemins de fer.

ATTACHES ET ASSEMBLAGES DES RAILS.

Crampons et chevillettes d'attache. — Les crampons ou chevillettes d'attache, dont on se sert sur les chemins de fer en Amérique, n'ont

1. Les cahiers des charges les plus récents pour la fourniture des traverses et des rails se rapprochent beaucoup de ceux des compagnies françaises.

rien de bien particulier. Sur des chemins construits il y a une vingtaine d'années, on rencontre encore des chevillettes à section ronde et légèrement affilées, avec filets de vis; mais, à l'heure qu'il est, ce sont les chevillettes à section carrée et à tranche coupant perpendiculairement les fibres de bois des traverses, munies d'une tête avec deux saillies latérales servant à mettre en prise le pied de chèvre dont on se sert pour les retirer, que l'on rencontre le plus généralement.

Dans le but de mieux maintenir en place les chevillettes une fois enfoncées dans les traverses, le chemin de fer de Philadelphia, Wilmington et Baltimore donne un certain renflement à la partie inférieure de la chevillette en le faisant précéder d'un léger étranglement (pl. XXIX, fig. 43). Après avoir été refoulé par le renflement de la chevillette, le bois réagit en vertu de son élasticité et vient s'appliquer contre la partie amincie de la chevillette, ce qui augmente la résistance au desserrage. En 1876, une chevillette de ce modèle coûtait environ 6 centimes.

Pour augmenter la résistance des chevillettes au déplacement latéral, on a proposé divers moyens. Un moyen, indiqué par M. Cochran, a été appliqué à des voies posées sur des traverses en bois tendre, celles dans lesquelles le desserrage des chevillettes est le plus à craindre. M. Cochran fait porter les têtes des chevillettes sur des plaques dites *crapauds*, dont le bord postérieur est partiellement recourbé pour être enfoncé dans la traverse. Le bord antérieur porte sur le pied du rail (pl. XXIX, fig. 41, et 42).

Plaques d'appui. — Nous avons vu que l'exécution de rails présentant une augmentation de largeur du patin au droit des traverses avait été proposée par Stevens en 1831, mais que les usines s'étaient refusées à laminer ces rails à section variable. Après avoir dû renoncer à l'élargissement du patin même du rail, on s'est borné à interposer des plaques entre les rails et les traverses, dans certains cas particuliers, tels que celui de l'emploi de traverses en bois tendre.

C'est surtout au droit des joints, c'est-à-dire sur les traverses de joint, que nous avons vu employer des plaques d'appui. Elles répartissent sur une plus grande surface le poids transmis par le rail; en maintenant l'écartement entre les chevillettes qui passent à travers ces plaques, elles les font concourir à la résistance

aux efforts horizontaux; elles empêchent enfin que les bouts les rails ne viennent marteler la surface des traverses.

Avant que les éclisses ne fussent d'un emploi général, on faisait remplir aux plaques d'appui posées sous les joints une partie des fonctions que remplissent maintenant les éclisses. On s'en servait pour maintenir exactement en face l'une de l'autre les têtes des rails.

Voici comment on les disposait à cette fin : chaque plaque recevait de part et d'autre du rail deux entailles pénétrant jusque près de chacun des bords du patin. Les quatre ailes extérieures ainsi détachées étaient percées de trous pour recevoir les chevillettes, et les deux ailes centrales étaient relevées et recourbées sur les patins des rails (pl. XXIX, fig. 37).

Dans les voies de garage du chemin de l'Érié et sur le chemin de fer Kansas Pacific, on rencontre encore des plaques d'appui ainsi disposées.

Depuis que l'emploi des éclisses s'est généralisé, et surtout depuis qu'on établit les joints en porte-à-faux, et que l'on donne aux éclisses la forme de cornières (pl. XXIX, fig. 9, 10, 13, 19 et 30, et pl. XXX, fig. 31), qui les fait concourir à l'élargissement de la surface d'appui, les plaques d'appui deviennent plus rares.

Éclisses. — Les éclisses, auxquelles l'inventeur du rail à patin n'avait demandé que de prévenir les déplacements latéraux des têtes des rails, remplissent maintenant, depuis qu'on les fait porter contre la face inférieure de la tête et la face supérieure du pied des rails, une autre fonction non moins importante. Elles établissent la continuité de résistance dans chaque file de rails.

Les éclisses à cornière se sont bien vite introduites en Amérique, et c'est surtout sur les chemins de fer à rails en acier que nous les avons rencontrées. Elles permettent de supprimer les encoches dans le pied des rails, et c'est un grand avantage, surtout pour les rails en acier, qui sont toujours plus exposés à des ruptures au droit d'une encoche que les rails en fer. Les branches horizontales des éclisses à cornière reçoivent les chevillettes et servent ainsi à prévenir le déplacement, soit longitudinal, soit latéral, des rails sur les traverses.

Sur certains chemins de fer, par exemple, sur celui de Pennsylvanie, l'éclisse intérieure seule est à cornière (pl. XXIX, fig. 19). On arrive ainsi, comme avec le système des doubles éclisses à cornières, à pouvoir se dispenser d'encoches dans le patin du rail; mais le

défaut de symétrie au droit du joint nous paraît un inconvénient[1].

Le moindre défaut de serrage des éclisses contre les rails pouvant donner lieu à des flexions au droit du joint au passage des roues chargées, tant pour empêcher que, par le défaut d'ajustage des éclisses, il ne se produise des chocs brusques, que pour assurer le maintien du serrage des boulons, il y a intérêt à donner une certaine élasticité aux éclisses. Le chemin de fer de l'Érié n'a pas cherché à atteindre ce but par le profil qu'il donne aux éclisses (pl. XXIX, fig. 30), mais il écarte beaucoup (de $0^m,20$ environ) les boulons voisins du joint; le chemin de fer de Lehigh Valley a donné un bombement plus prononcé à la branche verticale de son éclisse à cornière (pl. XXIX, fig. 9 et 10), ce qui procure une certaine élasticité au joint. Sur le chemin de fer de Louisville-Nashville, on est allé plus loin : on a d'abord ajouté extérieurement, sur une longueur de $0^m,25$, une contre-éclisse en chêne que traversaient les deux boulons du milieu. Dans ces derniers temps, cette contre-éclisse unique, placée contre le joint, a été remplacée par deux contre-éclisses en chêne, placées de part et d'autre du joint, de sorte que ces pièces de bois sont traversées à la fois par les quatre boulons. Par cette disposition le serrage des éclisses contre les rails se trouve mieux assuré, en ce que les écrous de tous les boulons reposent sur des pièces également élastiques (pl. XXIX, fig. 13 à 17). Les contre-éclisses en chêne ont une hauteur de 52 millimètres et une épaisseur de 22 millimètres; chacune a environ $0^m,25$ de long; comprimées par le serrage des boulons, elles forment tampons sans rien enlever à la rigidité des joints; elles préviennent les chocs durs et contribuent à prévenir le desserrage des boulons. On les emploie aussi bien pour les joints soutenus que pour les joints en porte-à-faux.

L'Intercolonial du Canada a adopté un système d'éclissage mixte,

---

1. MM. Flad et Pfeiffer, dont les noms sont bien connus pour la part importante qu'ils ont prise dans les calculs et l'exécution du pont sur le Mississipi à Saint-Louis, ont fait une série d'expériences sur la résistance des éclisses. Des bouts de rails ont été assemblés successivement avec divers systèmes d'éclisses, en laissant 6 millimètres d'écartement entre les faces des têtes; ils reposaient sur des appuis en bois espacés de $0^m,407$; les boulons, près du joint, étaient écartés de $0^m,146$, tandis que les boulons extérieurs n'étaient éloignés des boulons contigus aux joints que de $0^m,127$.

La pression ou charge était transmise sur le joint au moyen d'un cylindre de $0^m,070$ de diamètre placé dans le sens transversal.

Le tableau ci-après donne pour les diverses formes d'éclisses les charges sous les-

se rapprochant du *spring clip*, c'est-à-dire du manchon en acier jadis essayé en Angleterre pour les rails à double champignon et destiné à maintenir, rien que par l'élasticité propre à ce manchon embrassant par le bas les deux extrémités des rails, des éclisses ordinaires fixées au moyen de boulons.

---

quelles il y a eu affaissement, puis rupture ou voilement de l'éclisse. Les boulons ont toujours tenu bon.

NOM du ch. de fer sur lequel les éclisses sont employées.	DISPOSITION et dimension de l'éclisse.	NUMÉRO de la figure sur la pl XXX représentant le joint expérimenté.	MÉTAL de l'éclisse.	CHARGE EN TONNES sous laquelle		
				le joint s'est affaissé.	les éclisses se sont voilées.	les éclisses se sont rompues.
Kansas Pacific R.R.	Éclisses plates, de 0m,559 de long, 0m,051 de haut et 0m,127 d'épaisseur.	30	Acier.	24t	Les appuis ont cédé après que la charge avait dépassé 24 tonnes.	
	Comme ci-dessus.	30	Excellent fer fibreux.	19	—	28t,5
	Éclisses à cornière de 0m,559 de longueur, 0m,051 de hauteur et 0m,0143 d'épaisseur.	31	Fer.	24	36	—
	Comme ci-dessus.	31	Acier.	32,5	—	46
Chicago Rock-Island et Pacific R.R.	Éclisses, longues de 0m,559, ayant une hauteur de 0m,051, et une épaisseur de 0m,0216, réduite à 0m,016, à l'endroit de la rainure.	32	Fer.	19	—	25
	Comme ci-dessus.	32	Acier.	24	37	—
Chicago et Alton R.R.	Éclisses non symétriques; boulons reposant sur des rondelles en caoutchouc engagées dans des boîtes en fonte.	33	Acier.	33	38	—

Ce joint (*scabbard joint*), représenté fig. 32 et 33, pl. XXIX, est appliqué à l'éclissage en porte-à-faux entre traverses espacées de $0^m,40$ d'axe en axe.

Les largeurs d'appui sur les traverses étant en moyenne de $0^m,20$, le porte-à-faux est de $0^m,20$. Les manchons élastiques ont $0^m,30$ de long, et portent par suite de $0^m,05$ sur chaque traverse.

Ce système de joint dispense de pratiquer des encoches dans le patin du rail, et permet de prévenir les déplacements longitudinaux en mettant les crampons de part et d'autre du joint en contact avec le manchon.

La nécessité de perforer l'âme du rail pour fixer les éclisses, ainsi que les sujétions que crée, pour le profil du rail, l'établissement de faces d'appui convenablement épaulées pour le fonctionnement des éclisses, ont paru à M. Fisher des inconvénients graves, et il s'est appliqué à trouver un assemblage supprimant ces sujétions. Il cherche à établir la continuité des rails au moyen d'une plaque fixée contre le patin des rails. La plaque-semelle a une longueur qui atteint $0^m,60$ pour les joints en porte-à-faux, de manière à venir s'appuyer sur les traverses voisines du joint (pl. XXIX, fig. 25 et 26); mais il y a des cas, et c'est celui que nous avons représenté pl. XXIX, fig. 34 et 35, où la semelle n'a que $0^m,34$ de long, et ne porte pas sur les traverses. Les boulons qui fixent cette plaque-semelle contre les patins des rails sont en fer à cheval; ils s'engagent dans des encoches pratiquées dans le pied du rail de manière à en prévenir le déplacement longitudinal. L'avantage de la suppression des trous placés dans l'âme du rail à peu près sur l'axe neutre de son profil nous paraît moins grand, au point de vue de la résistance, que l'inconvénient des encoches dans le patin des rails, qui, comme nous l'avons déjà dit, diminuent la résistance et peuvent donner lieu à des ruptures au droit des encoches.

Le chemin de fer du Cincinnati-Southern a adopté cet assemblage pour ses rails en fer, et il a profité de la liberté qu'il donne pour le profil du champignon, pour disposer ce champignon en forme de poire (fig. 23, pl. XXIX).

Pour que les joints Fisher eussent la même rigidité que le rail même, il faudrait que la section des plaques-semelles fût très grande, en tous cas plus considérable qu'elle ne l'est dans son application actuelle; de plus, le moindre défaut de serrage des boulons donne lieu à des flexions sensibles du joint.

Nous avons cru devoir mentionner ce système d'assemblage plutôt à titre de renseignement que pour le recommander.

Nous citerons enfin au même titre les éclisses en bois de chêne que des ingénieurs américains, attachant une importance exagérée à l'élasticité des joints, avaient introduites sur quelques chemins de fer.

En 1870, M. Ch. Payne, en rendant compte à la Société américaine des ingénieurs civils de ses observations sur l'usure des rails en fer du Michigan-Southern and Northern-Indiana R. R., faisait l'éloge du joint *Howe*, introduit depuis 1859 sur une grande partie de cette ligne, qui a une longueur de 843^k,6, et il attribuait à l'élasticité de ce système d'éclissage la diminution de la proportion des rails qui avaient dû être retirés de la voie pour têtes écrasées au droit des joints.

Tandis que cette proportion s'élevait à 64 pour 100 avec des joints soutenus par des traverses munies de plaques d'appui, elle se trouvait réduite à 29 pour 100 dans les parties de voies posées avec le joint Howe.

Ce joint, ainsi qu'on le voit fig. 27, 28 et 29, pl. XXIX, est un joint à éclisses en bois. Le boulon qui rattache la semelle en fer, relevée seulement du côté intérieur, à l'éclisse extérieure en bois de chêne, passe par le joint. C'est une longrine en bois, de 60 millimètres de hauteur sur 220 millimètres de large, qui, avec le boulon engagé de moitié dans chaque rail, établit la continuité de la voie au droit des joints; car, vu la forme du rail et la faible résistance de l'éclisse en bois, on ne peut guère compter sur cette éclisse plus que sur le rebord de la plaque d'appui.

Les traverses voisines du joint sont écartées de 0^m,53 d'axe en axe: le porte-à-faux est donc d'environ 0^m,36.

Le chemin de Baltimore et Ohio emploie encore sur une assez grande échelle l'éclisse en chêne avec plaque-semelle sous joint, mais il ne place pas de boulon dans le joint. L'éclisse en bois (*splice block*) embrasse trois traverses; les joints des rails sont croisés.

On peut toutefois dire qu'en général on est maintenant revenu de la faveur dont jouissait l'éclisse en bois.

C'est seulement sur quelques sections du chemin de fer de l'Érié et du chemin de fer de Baltimore et Ohio que nous avons rencontré les éclisses en chêne remplaçant l'éclisse extérieure en fer. Sur le chemin de fer de l'Érié, l'éclisse intérieure est en fer; elle est de 0^m,25 de lon-

gueur et percée de deux trous, tandis que l'éclisse en bois a $1^m,50$ de longueur et se trouve fixée par quatre boulons; sa section transversale présente $0^m,10$ de hauteur et $0^m,15$ d'épaisseur. Nous donnons (pl. XXX, fig. 24, 25 et 26) la disposition que l'on rencontre encore, ainsi qu'il a été dit, sur le chemin de fer de Baltimore et Ohio. Les inconvénients principaux de ce système d'éclissage sont : le défaut de symétrie, d'où résulte une tendance au renversement, et la difficulté de placer près du joint les crampons extérieurs pour fixer les rails. Ces inconvénients sont trop saillants pour que nous ayons à nous y arrêter.

Position des joints. — La question de savoir si les joints doivent être soutenus par les traverses ou bien placés entre les traverses, et si les joints des deux files de rails formant la voie doivent se trouver en face les uns des autres, a été beaucoup discutée en Amérique.

Pour la préférence à donner aux joints soutenus ou aux joints en porte-à-faux, il n'y a pas encore de règle bien établie.

Sur les voies nouvelles et mal pourvues de ballast, l'expérience a démontré qu'il valait mieux que le joint fût soutenu par une traverse. Une fois la voie bien bourrée et tassée, et les rails munis d'éclisses de section et de forme convenables pour assurer la continuité des rails, on dispose les joints en porte-à-faux, tout en cherchant à réduire l'écartement des traverses voisines des joints. Il y a toutefois des ingénieurs américains qui considèrent la continuité des rails comme si bien établie par les éclisses, qu'ils ne tiennent aucun compte des joints et fixent les rails, sans se préoccuper de leur position, sur les traverses également espacées les unes des autres.

Pour ne pas avoir à remanier toutes les traverses lors du passage du joint soutenu au joint en porte-à-faux, M. de Funiak, ingénieur en chef du Louisville-Nashville R.R., place dans les voies nouvelles imparfaitement ballastées, de part et d'autre de la traverse de joint, une traverse intermédiaire, en ne laissant que l'intervalle de $0^m,12$ à $0^m,15$ absolument nécessaire pour pouvoir faire le bourrage.

Lorsqu'on vient à supprimer plus tard la traverse de joint, l'écartement d'axe en axe des traverses voisines du joint est d'environ $0^m,60$, c'est-à-dire celui des autres traverses intermédiaires.

Quand les joints des deux files de rails se trouvent en face les uns

des autres, de manière à être soutenus par les mêmes traverses ou compris dans le même intervalle entre les traverses, il est bien certain que, pour peu que les joints fléchissent, il en résulte pour l'essieu, dont les deux roues passent simultanément sur les joints, un mouvement de descente et de remonte. Si, au contraire, le joint d'une file de rails se trouve en face du milieu de l'autre rail de la voie (fig. 26, pl. XXX), les flexions des joints ne coïncident plus, et l'essieu vient en aide aux ressorts pour diminuer les oscillations transmises au véhicule. De plus, le véhicule restant soutenu en trois points par la roue qui se trouve en face du joint et par les deux autres roues, l'effort tendant à augmenter la flexion du joint n'est plus dû qu'au quart de la charge et ne doit pas affecter sensiblement le mouvement du véhicule.

Ce sont ces considérations qui ont fait introduire les joints croisés sur un grand nombre de chemins de fer en Amérique, et nous n'avons jamais ressenti sur ces chemins de fer les oscillations que de prime abord pourrait faire redouter ce système de pose.

Boulons d'éclisses et moyens employés pour prévenir le desserrage. — Les boulons qui fixent les éclisses sont toujours soumis à des efforts considérables, surtout lors du passage des charges sur les rails. Pour empêcher qu'indépendamment des efforts dans le sens de leur longueur les boulons n'aient aussi, par suite de leur contact avec l'âme du rail, à subir des efforts de cisaillement, M. Saire, ingénieur en chef du Lehigh Valley, a cru devoir augmenter la section des boulons de part et d'autre de la partie qui se trouve engagée dans le rail (pl. XXIX, fig. 9 et 10). Le trou dans le rail devant être fait pour la plus forte section, et les parties renforcées du boulon étant maintenues exactement dans les éclisses, on peut être sûr que les boulons ne seront jamais exposés au cisaillement.

En général, on laisse une différence de 1/8 de pouce (3 millimètres) entre le diamètre du trou pratiqué dans l'âme du rail et le diamètre du boulon. Ce diamètre varie ordinairement de 19 à [illegible] millimètres.

Pour empêcher le desserrage, on se sert quelquefois de contre-[illegible] mais le plus généralement c'est à d'autres moyens que l'on a recours. C'est ainsi que dans le but d'assurer une pression permanente contre l'écrou, de manière à diminuer les chances de desserrage, on fait porter les écrous sur des rondelles élastiques. La maison Pratt, de New-York, fabrique pour beaucoup de chemins

de fer des rondelles en fonte malléable renfermant un anneau en caoutchouc, abrité par une plaque de fonte. On reproche à ces rondelles (pl. XXIX, fig. 38 et 39) de trop varier d'élasticité avec la température.

Ce reproche ne peut être fait aux rondelles en acier fondu que fournit la maison Nichols, Pickering et Cie, de Philadelphie (pl. XXIX, fig. 36). Ces rondelles sont toutes d'une pièce ; elles ont des ailes relevées, sur lesquelles l'écrou vient s'appuyer. En serrant l'écrou, on ramène ces ailes dans le plan de la rondelle, ce qui produit contre l'écrou une pression permanente, qui subsiste même lorsque le serrage tendrait à diminuer.

Toutes ces rondelles élastiques (*Nutlock Washers*) réduisent bien les chances de desserrage, mais elles ne les écartent pas tout à fait. Il en est de même pour les contre-éclisses en bois dont il a été parlé plus haut.

Le maintien des écrous dans la position qui leur a été donnée est mieux assuré par des lames de tôle percées de deux trous et passant sur deux boulons de manière à ne pouvoir tourner. On relève au droit de chaque écrou un coin ou une arête de cette lame de tôle, pour qu'elle vienne s'appuyer contre l'un des bords de l'écrou, dont la rotation est ainsi empêchée. Les formes les plus variées ont été données à ces plaques de garde, qui font l'objet d'autant de brevets d'invention. Nous ne croyons pas devoir en donner d'autre spécimen que celui qui a été imaginé et employé au Canada par M. R. Taylor, et que nous reproduisons pl. XXIX, fig. 40. M. Taylor fabrique ses plaques de garde en acier, et il relève au droit de chacun des deux boulons sur lesquels passe la plaque une languette qui joue pour donner passage à l'écrou lorsqu'on le serre, mais qui s'oppose au mouvement en sens contraire, et empêche ainsi le desserrage, en se relevant d'elle-même à chaque sixième de tour. Pour pouvoir desserrer l'écrou, il faut appuyer sur la pointe libre et saillante de la languette et la ramener en contact avec l'éclisse.

Ces plaques de garde élastiques méritent la préférence sur les plaques en tôle de fer, dont l'application exige des soins minutieux, et dont les coins ou arêtes plusieurs fois ployés finissent par se rompre.

Sur le pont de l'Ohio à Cincinnati, nous avons vu des plaques de garde en tôle disposées de manière à prévenir non seulement la rotation des écrous, mais encore le déplacement longitudinal des

rails sur les traverses, ce qui permet de supprimer l'entaille du patin des rails. Les deux boulons extérieurs du joint portent des bandes de tôle qui sont repliées sur les traverses, où elles sont fixées par des chevillettes.

Les écrous sont maintenus au moyen d'arrêts repliés contre l'une de leurs faces. Les écrous sont en général carrés.

Le chemin de fer du Lehigh Valley a abandonné l'emploi des rondelles élastiques (*Washers*) pour empêcher le desserrage. On s'y sert maintenant, pour fixer l'écrou, d'un fil de cuivre qu'on loge dans une gaine pratiquée dans la partie taraudée du boulon. L'écrou prend l'empreinte du fil de cuivre lorsqu'on le serre, et une fois que l'écrou est serré, on recourbe le bout du fil qui dépasse l'écrou pour l'empêcher de revenir (pl. XXIX, fig. 10).

Sur quelques chemins de fer, on a recours au matage de la partie des boulons qui dépasse les écrous, pour prévenir le vol de ces éléments de la voie. En s'opposant ainsi aux tentatives d'enlèvement de rails, qui se sont renouvelées en certains endroits dans le but de provoquer des déraillements dont on profitait pour piller les trains, on est parvenu à rendre les déraillements moins fréquents : par contre, l'entretien de la voie et le renouvellement des rails est devenu plus difficile par suite de ce matage.

Pose de la voie. — Sur les lignes de chemins de fer s'avançant à travers des pays incultes et ne présentant pas de difficultés de construction, comme cela a lieu pour une grande partie des lignes du Pacifique, la pose de la voie constitue souvent la partie la plus importante des travaux, et la durée de la construction dépend essentiellement de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle la pose est effectuée.

En raison de l'intérêt que l'on attache au prompt établissement des lignes, l'opération de la pose de la voie, bien que l'on se dispense, ainsi que nous l'avons déjà dit, de la ballaster, exige un personnel nombreux, tant pour l'approche du matériel que pour la pose proprement dite.

La première question que l'on ait à résoudre, c'est d'assurer à ce personnel qui doit se déplacer le long de la ligne, au fur et à mesure de l'avancement des travaux, la nourriture et le logement.

Un certain nombre de wagons, disposés de manière à servir les uns de dortoirs, les autres de salles à manger, de cuisine et de magasins de provisions, fournissent les moyens de subvenir à tous

les besoins de ce chantier ambulant. Les wagons américains ont, comme on le sait, une grande longueur : on peut, en établissant le long des parois longitudinales d'un wagon trois étages de couchettes, pouvant recevoir chacune deux ouvriers, parvenir à loger de soixante à quatre-vingts ouvriers dans le même wagon.

Un wagon avec deux tables longitudinales suffit pour le repas de cent cinquante ouvriers.

La cuisine et le magasin de provisions occupent un seul wagon.

C'est avec une escouade de cent cinquante ouvriers environ que l'on s'avançait généralement sur l'Union Pacific R.R., dont les travaux étaient dirigés par M. T. E. Sickels, ingénieur en chef de la construction de cette ligne, à qui nous devons ces renseignements.

Tous les éléments métalliques de la voie provenaient d'Omaha, d'où partait la pose, tandis que les traverses étaient parfois prises dans des forêts plus ou moins voisines de la ligne : on établissait alors des dépôts de traverses séparés par des distances d'un à deux kilomètres, et la distribution des traverses se faisait dans ce cas au moyen de voitures attelées de deux chevaux, circulant sur la plate-forme.

Lorsque tout le matériel devait, au contraire, ce qui avait lieu fréquemment, être pris à une station d'approvisionnement située sur la portion de ligne déjà construite, on procédait de la manière suivante :

Dans cette station, on composait un train ayant en tête des wagons chargés de traverses; ces wagons étaient suivis immédiatement de wagons chargés de rails et des accessoires métalliques de la voie; puis venait la locomotive, suivie de quatre wagons de service disposés comme il a été dit plus haut.

Le train ainsi formé s'avançait jusqu'à l'extrémité de la voie déjà posée; on détachait alors la queue du train, et l'on se mettait à décharger les traverses, dont la distribution sur la plate-forme était aidée par des attelages; puis venait le tour des rails que l'on brochait sur deux ou trois traverses. Dès que les rails étaient ainsi assujettis d'une manière provisoire, le train s'engageait sur la nouvelle portion de voie pour déposer plus loin d'autres rails, de manière à réduire toujours le plus possible les transports à pied d'œuvre. Les ouvriers poseurs, chargés de régler les alignements et de fixer définitivement les rails, suivaient le train.

Autant que possible, on cherchait à placer les meilleures tra-

verses aux joints, et à aligner d'un côté de la voie les têtes des traverses à égale distance de l'axe, tandis que de l'autre côté, en raison de leurs longueurs inégales, les traverses présentaient en général une grande irrégularité.

Sauf dans les courbes très raides, on ne donnait aux rails ni surécartement, ni surhaussement. Les courbes un peu raides ne se présentant pas dans la région des prairies, la voie était de fait posée uniformément et avec le même gabarit sur de très grandes longueurs.

Aux heures des repas et à la fin du jour, la locomotive effectuait un mouvement en arrière pour aller chercher les wagons affectés au service du personnel, laissés sur la voie. Pour débarrasser la voie de ces wagons, qu'on eût été autrement obligé de faire circuler, à chaque transport de matériel, entre la station d'approvisionnement et le lieu d'emploi, on établissait parfois des voies de garage.

Suivant la distance entre le chantier et la station où se formaient les trains, on arrivait à poser de 3 à 5 kilomètres de voie par jour.

Sur le chemin du Central Pacific, on a fini par imprimer à la pose une rapidité beaucoup plus grande avec des escouades d'ouvriers plus nombreuses, composées de poseurs irlandais et de manœuvres chinois : la pose des rails, une fois la distribution des traverses opérée, s'est effectuée en dernier lieu à raison de 16 kilomètres par jour. Pour accélérer le mouvement des trains qui amenaient les rails, on avait posé des voies de garage que l'on déplaçait au fur et à mesure de l'avancement.

La pose de la voie, y compris la distribution des traverses, est revenue à un prix variant entre 1200 fr. et 1300 fr. le kilomètre; la voie, bien entendu, n'était pas ballastée, et le terrain naturel servait à bourrer les traverses.

On payait la journée d'un attelage à deux chevaux, conducteur compris, 15 fr.; celle de l'ouvrier poseur, de 12 fr. 50 à 13 fr. 75; celle du manœuvre ordinaire, 7 fr. 50.

CHANGEMENTS DE VOIE.

Changement à rails mobiles. — Le changement à rails mobiles (pl. XXXI, fig. 1), particulièrement approprié, en raison de sa sim-

plicité de construction, aux conditions d'établissement de la voie sur la plupart des chemins de fer américains, parcourus d'ailleurs avec de faibles vitesses, est encore très-répandu. Les rails ayant en général 30 pieds (9m,15) de long, le passage de ces changements ne présente pas de difficultés. On donne encore maintenant sur bien des chemins de fer la préférence à ces changements à rails mobiles sur les changements à aiguilles, auxquels on reproche de pouvoir, par suite de l'interposition de la neige ou d'un corps quelconque entre l'aiguille et le rail, s'arrêter avant que les aiguilles soient arrivées à la position extrême qui doit assurer le passage des trains.

Le changement à rails mobiles est fréquemment employé pour les changements triples, et en pareil cas sa supériorité sur les changements à aiguilles, au point de vue de la simplicité et du bon marché, est encore plus marquée que lorsqu'il ne s'agit que d'une simple bifurcation de voie.

En recherchant les moyens de conserver les avantages du changement à rails mobiles, tout en écartant le danger qu'il présente, les ingénieurs américains ont été amenés au changement dit « de sûreté » (*Safety switch*) (pl. XXXI, fig. 2).

Les rails mobiles de la voie unique sont munis, à leurs extrémités libres, de plaques d'environ 1m,80 de long, présentant trois amorces de rail. Celle du milieu est formée par le prolongement du rail mobile lui-même; elle doit se trouver en face de la voie avec laquelle la continuité doit être régulièrement établie. Les deux amorces de rail situées de part et d'autre de ce rail se placent alternativement devant les extrémités des rails de la voie dont la continuité est interrompue. L'amorce extérieure présente un plan incliné qui force la roue qui s'y engagerait, et dont le boudin porterait sur ce plan incliné, de gravir le rail mobile pour s'engager sur la voie. Ce déplacement est puissamment aidé par l'amorce intérieure du rail opposé. Cette amorce intérieure forme une pointe dirigée vers le rail mobile; de plus, un contre-rail guide la roue engagée sur la pointe vers le rail mobile.

De cette façon, un train prenant le changement de voie en talon suivra toujours la voie qui se trouve en face du rail mobile, de même que le train venant en sens inverse sur la voie mise en communication avec les rails mobiles franchira le changement sans aucun choc. Un train se dirigeant vers la voie unique et trouvant

les rails mobiles déplacés, au lieu de dérailler, sera ramené sur la voie en subissant, il est vrai, un certain choc.

Cette disposition ingénieuse, rappelant le fonctionnement des appareils dits *car replacers* dont on se sert souvent en Amérique pour remettre sur la voie des véhicules déraillés, ne saurait toutefois mériter complètement le nom qu'elle porte, car elle ne donne de garantie contre le déraillement, en cas de fausse position du changement, qu'autant que la vitesse du train est extrêmement réduite, attendu que le double déplacement transversal et vertical assez considérable qu'il est appelé à provoquer doit s'effectuer sur une longueur très faible.

Changement à aiguilles. — Le changement à aiguilles a été introduit aux États-Unis par M. Lorenz, ingénieur en chef du chemin de fer de Phidalelphia-Reading. Le changement à aiguilles dit *Lorenz-Switch* a, ainsi qu'on le voit (pl. XXXI, fig. 5 à 8), des aiguilles de longueurs égales, reliées entre elles à leurs extrémités par une tringle passant sous les rails et servant à maintenir leur écartement et à les guider. Le contre-poids destiné, dans les changements de voie à aiguilles usités en Europe, à ramener les aiguilles contre les rails, est remplacé par un ressort. Il est formé, soit par une série de disques en caoutchouc que l'on enfile sur la tringle de manœuvre, soit par un ressort elliptique en acier. Le levier de manœuvre est muni d'un loquet d'arrêt pareil à ceux des leviers de manœuvre des locomotives.

Le maintien du changement de voie dans la direction de la voie principale est souvent assuré par un cadenas qui retient le levier de manœuvre dans la position correspondante. Grâce à l'interposition des ressorts dans la tringle de manœuvre, un train venant de l'embranchement et prenant le changement en talon peut néanmoins déplacer les aiguilles, que les ressorts ramènent immédiatement à la position commandée par le levier. Des rails de sûreté sont placés devant les pointes.

Changement de voie, système Wharton. — La nécessité de passer, même en suivant la voie principale, sur les aiguilles, c'est-à-dire d'avoir à chaque rencontre d'un changement de voie une interruption de la voie principale, a toujours été une des plus graves objections faites par les ingénieurs américains au changement à aiguilles. Ils tiennent avec d'autant plus de raison à éviter cette discontinuité, que l'on ne se fait pas scrupule aux États-Unis d'ad-

mettre en pleine voie des embranchements pour des établissements industriels. La recherche d'un changement de voie susceptible d'assurer le maintien sans interruption de la voie principale (*unbroken main track*) a amené M. Wharton à proposer un changement de voie établissant la communication avec la voie d'embranchement en faisant passer les roues par-dessus la voie principale (pl. XXXI, fig. 11 à 13).

Ce changement de voie (*système Wharton*) a déjà été décrit par M. Malézieux dans son rapport sur les travaux publics aux États-Unis; mais nous pouvons d'autant moins le passer sous silence qu'il a reçu des perfectionnements dans ces dernières années, et qu'il constitue en réalité un progrès important. Le changement Wharton permet de circuler sur la voie principale, dont se détachent des embranchements, sans qu'il y ait lieu de ralentir la marche au passage des changements de voie. Il n'en est toutefois pas tout à fait de même pour le passage sur les voies d'embranchement. Quoique le surhaussement, à l'aide duquel les roues s'engagent sur la voie d'embranchement en s'élevant au-dessus de la voie principale, s'effectue sur une bien plus grande longueur que dans le changement dit « de sûreté », et bien que ce surhaussement pour le rail extérieur de l'embranchement ait été ramené, de 50 millimètres que M. Wharton lui donnait autrefois, à 42 millimètres seulement, les véhicules circulant sur la voie d'embranchement ne doivent pas dépasser une certaine vitesse en franchissant le changement, pour ne pas subir des chocs susceptibles de les endommager aussi bien que le changement lui-même.

Le changement étant disposé pour donner passage sur la voie d'embranchement (fig. 12), les roues intérieures, guidées d'abord par le contre-rail UU, portent sur le rail SS, dont le niveau s'élève successivement, et les roues extérieures, sur la nervure extérieure du canal creux S'S' qui s'élève également. Il n'est pas d'ailleurs à craindre, vu la largeur du bandage des roues qui est de $0^{m},14$ environ, y compris le boudin, que la roue inférieure ne puisse porter sur le rail SS au moment où le boudin franchit le rail RR.

Le contre-rail TT est mobile et se trouve serré contre le rail RR de la voie principale, lorsque le changement est placé pour l'embranchement. La tringle qui commande le mouvement de ce contre-rail est rattachée à l'arbre horizontal XX, qui transmet la manœuvre aux rails SS et S'S'. Le changement se trouvant dans la

position que nous venons de décrire (fig. 12) se déplace automatiquement, grâce à ce contre-rail mobile TT, lorsqu'un train vient de la voie principale prendre en talon le changement placé dans une position autre que celle qui convient au parcours sur cette voie.

La roue de devant repousse le contre-rail, l'écarte du rail de la voie principale, et ce déplacement entraîne l'écartement des rails SS et S'S'. Il se fait avec d'autant plus de facilité, qu'au moment où il s'opère les rails mobiles ne sont pas encore chargés.

Le changement de voie, ainsi ramené à la position (fig. 11), correspondant à la libre circulation sur la voie principale, ne doit pas présenter de danger de déraillement pour un train venant de l'embranchement.

Pour répondre à cette condition, M. Wharton ajoute depuis quelque temps les deux pièces V'V' et VV, dont la première fonctionne comme contre-rail pour ramener vers le rail R'R' de la voie principale les roues qui quittent le rail S'S', tandis que la pièce VV, dont le fond se relève jusqu'au niveau du rail RR, sert à soulever les roues quittant le rail SS pour les faire passer par-dessus le rail RR.

Cette disposition, tout en empêchant le déraillement des véhicules venant de l'embranchement, ne provoque pas le déplacement du changement de voie.

Depuis l'addition des deux pièces VV et V'V', on donne la même longueur aux rails mobiles SS et S'S', tandis qu'autrefois le rail S'S' dépassait le rail SS.

Le levier de manœuvre se trouve toujours rabattu horizontalement, quelle que soit la position du changement de voie.

Malgré le fonctionnement automatique de ce changement de voie, on préfère généralement fixer le levier de manœuvre au moyen d'un cadenas dans la position correspondant à la voie principale, et le mécanicien qui doit faire passer son train sur l'embranchement est tenu par le règlement de le cadenasser dans cette même position après l'avoir déplacé pour quitter cette voie.

Souvent un montant, portant un disque et une lanterne, se trouve rattaché au levier de manœuvre (pl. XXXI, fig. 13) pour montrer de loin au mécanicien la position du changement.

Remarquons en terminant que des dispositions spéciales ont pour objet de faciliter la rotation des rails mobiles. Ainsi le rail mobile S'S' se trouve pris en W dans un sabot qui repose sur des

glissières et qui tourne autour d'un pivot noyé dans la plaque-semelle, munie également de glissières.

Aux États-Unis, le changement de voie système Wharton a reçu une application très-générale. A l'heure qu'il est, plus de 5000 changements Wharton sont établis sur les chemins de fer de l'Union. Leur emploi se propage en outre au Canada et dans l'Amérique du Sud.

CROISEMENTS DE VOIE.

La préoccupation du maintien de la continuité de la voie et la crainte d'y introduire des éléments manquant d'élasticité ont provoqué les études multipliées dont les croisements de voie ont été l'objet en Amérique.

Malgré l'excellente qualité de la fonte en coquille, qui permet l'emploi presque exclusif des roues en fonte, nous n'avons pas rencontré sur les chemins de fer d'Amérique de croisements en fonte. Ce fait est d'autant plus frappant, que les croisements en fonte sont très répandus sur tous les chemins de fer de l'Europe, où l'on n'admet les roues en fonte qu'avec des restrictions qui en rendent l'emploi très limité. Le motif de ces pratiques, tout à fait opposées en Europe et en Amérique en ce qui concerne les croisements, trouve son explication dans la prévention existant en Amérique, ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le constater, contre l'introduction de pièces rigides non élastiques dans la voie.

Sur les premiers chemins de fer des Etats-Unis, les croisements étaient formés de rails ordinaires fixés comme la voie courante sur les traverses. A peine usait-on de quelques soins particuliers pour assurer les positions respectives de la pointe et des pattes de lièvre.

Depuis que l'attention des ingénieurs américains se porte davantage sur les éléments de la voie, les croisements ont été perfectionnés, d'abord en assurant par des entretoises ou semelles la liaison invariable des rails composant chaque croisement, puis en employant exclusivement des rails en acier.

Croisement de voie élastique. — Pour éviter que des chocs ne se produisent, lorsque la roue quitte le rail pour venir s'engager sur la pointe du croisement, certains ingénieurs ont proposé de garnir d'un corps élastique, bois ou caoutchouc, le fond de l'espace compris entre les rails et la pointe de croisement, afin que le men-

tonnet de la roue, depuis le moment où la jante quitte le rail jusqu'à celui où elle vient reposer sur la pointe, puisse porter sur cette garniture élastique. Un atelier de construction, spécial pour la construction du matériel fixe, la *Mansfield elastic frog Cy*, exécute des croisements où les rails sont assemblés au moyen de sabots en fonte dans lesquels des garnitures en bois sont employées pour obtenir un certain degré d'élasticité. (Pl. XXXI, fig. 3 et 4.)

Les coussinets ou *chairs* extrêmes A et B, ainsi que les sabots intermédiaires C et D, tous en fonte, maintiennent entre eux, par l'intermédiaire de blocs E, les rails constituant le croisement. Ces rails reposent sur une plaque F en bois de chêne, remplissant un creux réservé dans les coussinets; un coin G, également en chêne, passe sous cette plaque F, en s'appuyant sur la base des coussinets. En enfonçant énergiquement ce coin G, la plaque F et les blocs E se serrent contre les rails, qui sont ainsi maintenus sans avoir besoin d'être perforés et dont l'assemblage participe de l'élasticité du bois de chêne. Toutes ces pièces de bois sont préparées à la créosote. Les éléments en fonte constituant le coussinet complet sont réunis par deux boulons HH qui les traversent en passant de part et d'autre du coin G sous les rails.

Le croisement une fois assemblé se pose sur des traverses, en ayant soin de ne pas laisser porter les sabots en fonte sur les coussinets, mais de les loger entre les traverses. Cette construction, qui date de 1874, a été introduite à titre d'essai sur plusieurs chemins de fer, tels que ceux de Boston-Providence, de Boston-Albany, le Grand-Trunk et autres.

Croisement de voie, système Lewis. — L'établissement de M. Wharton, portant le nom de *Wharton Rail Road Switch Cy*, fabrique dans ses ateliers, situés près de Philadelphie, des coussinets *système Lewis* qui, tout en assurant une solide liaison entre les divers rails constituant le croisement, ne reposent pas sur une plaque commune, mais sur les traverses elle-mêmes, sans dispositifs spéciaux pour la pose (pl. XXX, fig. 1 à 4). Les rails, en acier Bessemer, sont assemblés au moyen de trois semelles en fer forgé ayant $0^{m},15$ de largeur et $0^{m},022$ d'épaisseur. Des garnitures en fer forgé assurent le maintien des écartements, et des coins en fer, enfoncés extérieurement entre les rebords des semelles et les rails, rendent cet assemblage parfaitement rigide.

Des boulons assurent le maintien de tous les éléments dans leurs positions et permettent de les renouveler sans qu'il y ait lieu de démonter le croisement. Lors de la pose de ce croisement, on a soin de faire en sorte que les semelles d'assemblage se trouvent placées, comme pour les coussinets du système Mansfield déjà décrits, entre les traverses. Il est recommandé d'assujettir ces croisements en plaçant deux chevillettes, l'une extérieure, l'autre intérieure, à chaque rencontre de rails avec les traverses. Dans un but d'économie, on réduit quelquefois à deux et même à une seulement le nombre des semelles reliant la pointe aux pattes de lièvre (pl. XXX, fig. 5 à 11). Lorsqu'on n'emploie qu'une seule plaque-semelle, on la place à l'aplomb de l'extrémité de la pointe, et l'on fixe au moyen de boulons horizontaux les garnitures qui servent à assurer de part et d'autre de la pointe l'écartement des éléments du croisement.

Croisement de voie de la Pennsylvania Steel Cy. — La *Pennsylvania Steel Company*, au lieu d'interposer au droit des boulons transversaux, assemblant les rails et contre-rails qui forment les croisements, une série de pièces destinées à maintenir leur écartement réciproque, introduit entre la pointe et les contre-rails deux pièces de fer régnant sur toute la longueur du croisement (pl. XXX, fig. 12 à 15). Ce type de croisement à été employé sur les chemins de fer de Philadelphia-Reading, du Pennsylvania Central, de l'Union-Pacific, du Central of Georgia et autres. La Pennsylvania Steel Cy a également fourni, sur commandes spéciales, des coussinets montés sur une plaque de 20 millimètres d'épaisseur. Dans cette plaque, des rainures, de 5 millimètres d'épaisseur, servent à recevoir les amorces de rails constituant le croisement. L'assemblage se fait au moyen de boulons et de garnitures en fonte qui contribuent au maintien en place des éléments du croisement.

Croisement de voie, système Tyler. — Dans tous les croisements dont nous venons de parler, les rails qui concourent vers le croisement sont coupés, et bien que la voie principale soit munie de l'aiguille Wharton, les roues rencontrent une interruption de voie au droit du croisement.

Dans le croisement système Tyler, il est paré, au moins pour la voie principale, à cet inconvénient, par une disposition qui rappelle celle de M. Wharton dans les changements de voie. Le rail de la

voie d'embranchement, qui coupe le rail de la voie principale, est relevé à partir du changement, de telle sorte que les roues des véhicules qui vont sur la voie d'embranchement passent par-dessus le rail de la voie principale, qui est continu, tandis que le rail de la voie d'embranchement est coupé. — Au-delà du rail de la voie principale, c'est sur une plaque de tôle, se raccordant avec le niveau du rail, que portent les boudins des roues pour éviter le choc qui pourrait se produire, lorsque les jantes des roues reviennent au niveau du rail qui n'est pas surélevé.

Des contre-rails préviennent le déraillement.

Croisements de voie à ressort. — Les croisements à ressort que construisent les « Jersey City Iron Works » sous le nom de *main line frog*, c'est-à-dire croisement pour voie principale, et la « Wharton R. R. Switch Cy » sous le nom de *Spring frog*, c'est-à-dire croisement à ressort, remédient également à l'inconvénient de la discontinuité de la voie principale au droit des croisements. En laissant à la patte de lièvre, qui forme le prolongement de la file de rails de la voie principale, une mobilité limitée, et en la serrant au moyen de ressorts contre la pointe du croisement, on est sûr que le train qui suit la voie principale ne pourra rencontrer de lacune sur son parcours. Par contre, un train passant sur l'embranchement déplacera facilement la patte de lièvre mobile pour faire passer le mentonnet des roues. Les ressorts ramèneront toujours le rail mobile au contact.

La crainte que le ressort ne fonctionne pas et ne ramène pas au contact la patte de lièvre ne paraît pas devoir empêcher l'emploi des croisements à ressort; car; lors même que le ressort serait cassé et ne fonctionnerait plus du tout, il en résulterait seulement que le croisement à ressort se réduirait à un croisement ordinaire, les pattes de lièvre restant écartées de la pointe. Le rail mobile ne peut s'écarter de la pointe au delà d'une certaine limite qui est fixée par des taquets et des tirants.

Le chemin de fer du Cincinnati-Southern, qui conserve le changement à rail mobile, a introduit le croisement à ressort sur ses voies récemment construites.

Les croisements à ressort des Jersey City Iron Works (pl. XXX, fig. 19) sont construits sans plaque d'appui générale. La pointe et la patte de lièvre immobile sont solidement assemblées par des boulons horizontaux et au moyen de deux semelles servant de glis-

sières à la patte de lièvre mobile. La semelle qui se trouve près du sommet porte dans une douille en fer le ressort en caoutchouc qui ramène le rail mobile au contact de la pointe; la seconde semelle porte une tige horizontale traversant l'âme du rail mobile et servant à la fois à le guider et à limiter son mouvement.

La disposition adoptée par la Wharton R.R. Switch Cy pour ses croisements à ressort se trouve figurée pl. XXX, fig. 16; elle diffère de celle que nous venons de décrire par l'addition d'une feuille de tôle de 1m,75 de long et 0m,40 de large, sur laquelle glisse le rail mobile. La broche passant par le rail fixe et le rail mobile porte de chaque côté un ressort pour ramener vers la pointe ce dernier rail, munie à son extrémité d'une branche prise dans une gaîne qui lui sert à la fois de guide et d'arrêt.

La Pennsylvania Steel Cy fait également reposer ses croisements à ressort sur une feuille de tôle, mais elle guide le rail mobile au moyen d'une tringle passant horizontalement à travers les deux pattes de lièvre et les deux rails qui se réunissent en pointe. La tringle est assujettie à ses deux extrémités contre la semelle générale (pl. XXX, fig. 17 et 18).

Ces systèmes de croisement ont cela de commun, qu'ils n'exigent pas de charpente spéciale; il n'y a pas de longrines; on les fixe sur les traverses, au moyen des chevillettes ordinaires employées pour les rails.

Quant aux angles des croisements, on cherche en Amérique, comme partout ailleurs, à en limiter le nombre. Il va de soi que les usines en fournissent pour toute espèce d'intersection. Les types normaux que fabrique la Wharton R.R. Switch Cy sont ceux de 1 sur 8, 1 sur 9 et 1 sur 10. Les longueurs correspondantes sont de 2m,44, 2m,75 et 3m,05. Les prix de ces croisements à ressort étaient en 1876 de 250 fr., 262 fr. et 275 fr.

TRAVERSÉE DE VOIES.

Quelque grands que soient les inconvénients que présentent les traversées de voie (*Crossings*), au point de vue de l'exploitation, nous devons constater que, pour éviter les dépenses considérables qui résulteraient souvent de l'obligation de traverser un chemin de fer existant par-dessus ou par-dessous, les ingénieurs américains n'ont

pas hésité le plus souvent à les admettre. C'est ainsi que le chemin de fer de l'Érié est croisé près d'Oléan par le chemin de fer de Buffalo, New-York et Philadelphia, et que celui du Lehigh Valley et le Central R.R. of New-Jersey se croisent en voie courante. Les croisements sont surtout nombreux dans les vastes plaines des États de l'Ouest, où il serait extrêmement difficile de les éviter. Sur la ligne de l'Illinois Central, dont le parcours total est de 496 kilomètres, on n'en compte pas moins de trente-cinq, soit un croisement tous les 14 kilomètres. Les traversées de lignes appartenant à un même réseau sont très fréquentes.

Ce n'est pas ici le lieu de parler des sujétions qu'imposent les traversées de voie à la marche des trains, ni des précautions prises pour écarter les dangers qu'elles présentent pour l'exploitation. Ce n'est qu'au point de vue de la construction que nous en dirons quelques mots.

Les rails de la voie courante s'arrêtent, s'ils sont en fer, à quelque distance de l'intersection des voies, et tout le carré de la traversée est formé de rails en acier.

Les rails et les contre-rails offrent des dispositions analogues à celles des croisements de voie. Ce sont en général les établissements ayant la spécialité des changements et croisements de voies qui fabriquent aussi les traversées de voies, auxquelles ils appliquent les mêmes systèmes de construction qu'aux croisements.

La Pennsylvania Steel C^{y}, par exemple, interpose des barres en fonte sur toute la longueur de la traversée entre les rails et contre-rails, pour y faire porter les mentonnets des roues. Ces pièces de fonte sont fixées au moyen de boulons horizontaux (pl. XXX, fig. 20 à 22). Des coins en fonte, placés dans les angles aigus, et des éclisses embrassant les angles obtus, complètent les moyens employés pour l'assemblage de tous les éléments métalliques de la traversée, posés directement sur les traverses que l'on a soin de rapprocher le plus possible.

On retrouve, dans divers modèles de traversées, les dispositions pour éviter les chocs résultant des lacunes réservées pour le passage des mentonnets, que nous avons déjà décrites à l'occasion des croisements.

A titre de spécimen de traversées élastiques, nous donnons (pl. XXX, fig. 23) le système proposé par M. James Cumming. Les

rails BB sont coupés en biseau et fixés sur la plaque en fonte AA, qui reçoit également les bouts de rails CC compris dans les entre-voies. Ces derniers sont coupés à angle droit et s'arrêtent à la distance commandée par le passage des mentonnets des roues. Les contre-rails D,D,D, sont en fonte. A l'intersection des rails, la plaque AA renferme dans un creux un tampon en caoutchouc, recouvert par la plaque en acier E, qui est destinée à soutenir les mentonnets des roues de manière à prévenir les chocs. La même disposition a été proposée pour les croisements de voie au droit de la pointe de cœur.

La Compagnie du Lake Shore et Michigan-Southern, celle du New-York Central et Hudson-River, et celle du chemin de fer de Buffalo, New-York et Philadelphie, ont fait l'essai des croisements et des traversées du système Cumming, et elles n'avaient, au bout d'une année et demie d'usage, qu'à se louer de leur état de conservation et de leur service.

DISPOSITIONS PARTICULIÈRES DE LA VOIE.

Contre-rails. — Dans les courbes un peu raides, on a généralement soin de placer un contre-rail intérieur à 6 ou 7 centimètres de distance du rail intérieur de la voie, pour diminuer les chances de déraillement. Les faces intérieures des roues intérieures sont retenues par ce contre-rail, si, par suite d'un élargissement trop fort de la voie, la butée des mentonnets des roues extérieures contre la face intérieure du rail extérieur ne suffit plus pour maintenir les roues sur le rail intérieur.

Cette précaution est d'autant plus motivée, que sur beaucoup de chemins de fer les bandages des roues n'ont au début aucune conicité. Sur d'autres lignes, on donne bien une conicité d'environ un vingtième aux roues, mais on ne les retire du service que lorsqu'elles l'ont complètement perdue et qu'il s'y est même creusé une ornière assez prononcée. Ce n'est donc pas sur l'effet de la conicité des roues, très contesté du reste, que l'on peut compter pour guider la marche des trains dans les courbes ; c'est seulement sur l'action des boudins des roues contre les rails. A mesure que l'usure des bandages fait des progrès, le mentonnet prend une saillie de plus en plus forte sur la face de roulement, ce qui contribue à diminuer les chances de déraillement.

Les contre-rails sont également employés partout où il s'agit de ménager du côté intérieur des rails un espace suffisant pour le passage des mentonnets des roues; on les omet rarement dans les passages à niveau.

La Pennsylvania Steel Cy fournit des sabots en fonte pour assurer la position des contre-rails par rapport aux rails. Ces sabots ou coussinets se logent entre les traverses (pl. XXXI, fig. 9 et 10). Très souvent cependant on se borne à fixer les contre-rails au moyen de chevillettes sur les traverses.

Sur les ponts, l'usage des contre-rails est plus répandu en Amérique que chez nous. Si la voie est courbe sur le pont, on ne place de contre-rail intérieur que du coté du rail intérieur. Si le pont est en ligne droite, on pose des contre-rails contre les deux files de rails.

On avait remarqué que des déraillements se produisaient souvent à l'entrée des ponts, en raison de la différence d'élasticité de la voie sur les culées et sur les remblais qui précèdent les culées. Pour diminuer les chances de déraillement en ces endroits, on prolonge toujours les contre-rails au-delà des culées; en outre, pour ramener sur les rails un essieu ou un truck qui arriverait déjà déraillé vers le pont, on rapproche les deux contre-rails vers l'axe de la voie, de manière à former une pointe. (Pl. XXXII, fig. 17.)

Nous n'avons pas pu nous rendre pratiquement compte de l'efficacité de cette disposition. Toujours est-il qu'avec des vitesses faibles cette efficacité ne saurait être contestée d'une manière absolue.

C'est sans doute surtout en vue de diminuer les chances de déraillement qu'aux abords d'un grand nombre de ponts d'une certaine importance le ralentissement de la marche est commandé par des signaux fixes aux mécaniciens.

La vitesse ayant d'ailleurs pour effet d'accroître les efforts subis par les ponts, on conçoit que la sécurité insuffisante que présentent parfois ces ouvrages, en raison de leur mauvais état de conservation, ne soit pas étrangère à ces ordres de ralentissement, que les voyageurs ne sont que trop portés à attribuer exclusivement à ce dernier motif.

Nous avons vu, en parlant de l'écartement des voies, que sur certains ponts, dont la largeur ne permettait pas la pose d'une double voie dans les conditions normales, on a en quelque sorte em-

boîté les deux voies l'une dans l'autre, pour pouvoir néanmoins continuer sur le pont les deux voies établies à ses abords. En pareil cas, les rails des deux voies se servent réciproquement de contre-rails, et dispensent le plus souvent de la pose de contre-rails spéciaux.

Sur les ponts du chemin de fer du Cincinnati-Southern, on a remplacé le contre-rail par des longrines en bois, ayant 0m,13 sur 0m,20, qui sont fixées de part et d'autre extérieurement, à 0m,305 de distance des rails. L'arête supérieure de ces longrines qui est tournée vers le rail est armée d'une cornière ayant 0,m 076 de côté et 9 millimètres d'épaisseur (pl. XVII, fig. 12).

Rails à ornière. — Dans les villes, ainsi que dans les établissements industriels où les voies ferrées pénètrent, on adopte souvent des courbes très raides. On descend parfois jusqu'à un rayon de moins de 50 mètres. Pour faciliter le passage des wagons sur ces courbes, on remplace à l'extérieur le rail ordinaire par un rail plat à ornière centrale. Les roues extérieures, dont les mentonnets s'engagent dans cette ornière, roulent alors sur la face extérieure de leurs mentonnets.

Garages pour wagonnets. — Au nombre des dispositions particulières de la voie, nous citerons enfin celle qui est adoptée sur le chemin de Pennsylvanie pour faciliter le garage des wagonnets de service. Tandis que, sur les chemins de fer européens, on a l'habitude de débarrasser la voie courante des wagonnets de service qui s'y trouvent en les soulevant pour les pousser vers l'accotement, ou bien en les renversant sur le côté, on a établi sur le chemin de fer de Pennsylvanie un grand nombre de garages (pl. XXXII, fig. 16), sur lesquels les wagonnets sont poussés. Pour faire entrer un wagonnet sur un de ces garages, on le fait pivoter autour d'une de ses roues, après quoi on le pousse jusqu'au fond du garage. La voie de garage ayant une pente vers son extrémité, il n'est pas à craindre que le wagonnet, une fois poussé sur le garage, puisse compromettre la circulation sur la voie principale.

Vu la petite largeur de la plate-forme, cette disposition paraît très utile sur les chemins de fer en Amérique ; elle le serait également sur nos lignes pour réduire l'usure des wagonnets et pour éviter les dégradations de la couche de ballast.

PLAQUES TOURNANTES.

Les voitures et wagons généralement employés sur les chemins de fer américains ayant une très grande longueur se prêtent difficilement à l'emploi des plaques tournantes, qui ne devraient pas avoir moins de 15 mètres de diamètre, pour pouvoir être appliquées à leur manœuvre. Aussi ne fait-on pas usage dans les stations de plaques tournantes (*Turn tables*) pour cette manœuvre; on les réserve pour celle des locomotives.

Triangles de rebroussement. — Dans les commencements, certains chemins de fer, tels que ceux de Baltimore-Ohio et de l'Union-Pacific, ont même évité la construction des plaques tournantes pour le service des locomotives, en établissant des triangles de rebroussement, formés de courbes d'environ 120 mètres de rayon (pl. XXXVII, fig. 7). Sur l'Union-Pacific, c'est dans le double but de créer des voies de chargement, entourant les dépôts de traverses et d'autres matériaux, et de remplacer les plaques tournantes, que ces courbes de rebroussement ont été établies. Les pertes de temps que le parcours de ces courbes entraîne pour le service des locomotives, les fréquentes interruptions qu'y subit la circulation par suite de l'amoncellement des neiges, tendent à les faire abandonner aujourd'hui.

Plaques tournantes en bois. — La nécessité de construire des plaques tournantes de 15 à 16 mètres de diamètre à des intervalles plus ou moins considérables a fait naturellement chercher le moyen le moins coûteux de les établir. En les construisant en bois et en réduisant la plaque tournante à un pont tournant d'une portée de 15 à 16 mètres, on est parvenu à réduire sensiblement les dépenses de premier établissement. Sur les chemins de fer qui datent d'une vingtaine d'années, on rencontre encore de ces plaques tournantes; c'est ainsi que sur le chemin de fer de l'Érié, entre Buffalo et Niagara Falls, à la station de Tonawanda, il existait en 1873 une plaque tournante posée dans une fosse blindée par un cuvelage formé de madriers jointifs.

Une grande pierre de taille portait le tourillon central; la crapaudine était prise entre deux poutres de $0^{m},45$ sur $0^{m},40$, qui supportaient les deux longerons soutenant la voie. Ces longerons étaient

renforcés par des contre-fiches et des haubans en fer rond qui se rattachaient aux extrémités des poutres en passant sous des potelets supportant les longerons par le milieu.

Des galets, fixés près de l'extrémité de chaque poutre, reposaient sur un rail circulaire logé dans l'intérieur de la cuve.

Pour faire tourner cette plaque, on se servait de deux leviers d'environ 2 mètres de long que l'on adaptait aux extrémités des volées, et il fallait de trois à quatre hommes pour faire la manœuvre, lorsque la machine se trouvait sur la plaque.

Sur le chemin de fer de Louisville-Nashville, on construit encore maintenant en bois les plaques tournantes des nouveaux embranchements.

Ainsi qu'on le voit fig. 13, 14 et 15, pl. XXXII, la plaque tournante, d'une longueur totale de $15^{m},86$, est portée par deux poutres de $0^{m},30$ d'épaisseur sur $0^{m},36$ de haut, soutenues au milieu par un cadre qui reçoit sur sa face inférieure un cercle en fer s'appuyant sur les galets. Les traverses centrales qui embrassent la crapaudine sont surmontées d'une potence formée de poutres ayant $0^{m},23$ d'équarrissage, et présentant, au-dessus de la voie, une largeur libre de $3^{m},36$ et une hauteur libre de 5 mètres. Chaque longeron est soutenu dans chacune des volées par deux haubans de 32 millimètres de diamètre, passant par-dessus les montants érigés au milieu du pont tournant.

L'appareil de rotation se trouve concentré sous la partie centrale. Le pivot en fer a $0^{m},45$ de long et $0^{m},10$ de diamètre ; il ne porte aucune charge et n'a d'autre objet que de guider le mouvement de rotation. Tout le poids est supporté par 26 galets en fonte de $0^{m},30$ de diamètre, rattachés par des tringles, sur lesquelles ils tournent librement, à une couronne centrale embrassant le pivot. L'écartement des galets entre eux est maintenu par un cercle qui les entoure et que traversent les tringles formant les axes de rotation des galets.

Le rail circulaire sur lequel roulent les galets est formé de quatre segments en fonte, tandis que le cercle, par l'intermédiaire duquel la plaque tournante repose sur les galets, est en fer plat de $0^{m},10$ de largeur sur $0^{m},025$ d'épaisseur. Son diamètre moyen est de $3^{m},20$. Le mouvement s'imprime au moyen de deux leviers en bois fixés aux extrémités des volées. C'est sans doute pour faciliter l'exécution et surtout la pose qu'on n'a pas fait les galets coniques.

Citons encore la construction des petites plaques tournantes en bois, de 8m,24 de diamètre seulement, que l'on rencontre sur certains embranchements de la même ligne.

Les fig. 9, 10, 11 et 12, pl. XXXII, montrent une plaque tournante exécutée sur l'embranchement de Bardstown. Pour ce faible diamètre, la poutre double remplace la ferme à haubans, et le nombre des galets est réduit à douze, leur diamètre à 0m,23. Le rayon moyen de la voie circulaire sur laquelle roulent les galets est de 1m,58.

Il entre dans une plaque tournante de ce type 5mc,26 de bois, 610 kilogrammes de fonte, et 356 kilogrammes de fer.

Plaques tournantes métalliques. — Sur les chemins de fer prospères, toutes les plaques tournantes sont en fer; il en est de même de toutes les plaques établies au centre des grands dépôts de locomotives de toutes les lignes, quelles qu'elles soient. Les inconvénients résultant d'une irrégularité ou d'une interruption de service de ces plaques tournantes sont trop graves, pour que l'on n'attache pas la plus grande importance à les prévenir.

Le type le meilleur et le plus répandu est celui que fournit la grande maison Sellers, de Philadelphie (pl. XXXII, fig. 1 à 8).

Le plancher de ces plaques tournantes recouvre toute la cuve; indépendamment de l'avantage de mettre la fosse à couvert et d'empêcher l'introduction de la neige ou de toute autre matière pouvant nuire au mouvement, on évite ainsi tous les dangers qui résultent pour la circulation des ouvriers de l'existence d'une fosse ouverte. Les extrémités des poutres qui supportent la voie sont soutenues par des galets portant sur un rail circulaire; de plus, sur le diamètre perpendiculaire à l'axe de la voie, il y a également des galets qui servent à prévenir tout déversement de la plaque.

Le plus grand soin est apporté à la construction de la partie centrale, c'est-à-dire du pivot et de la crapaudine.

Le système de construction du pivot, particulier à la maison Sellers (*Sellers antifriction pivot*), n'est autre que celui que nous avons déjà décrit en traitant des ponts tournants. Sur le pivot, s'élevant sur un pilier central, repose la crapaudine qui présente un jeu suffisant pour pouvoir tourner et osciller facilement. Cette crapaudine reçoit, par l'intermédiaire d'une couronne formée de galets coniques, la boîte en fonte à laquelle se rattachent les poutres supportant la voie. Par l'effet de cette disposition, qui permet à la plaque de tourner, soit sur

la couronne de galets, soit sur le pivot, et par suite du jeu de la crapaudine, le mouvement est rendu très facile et n'est pas compromis par une légère dénivellation. Le jeu de la crapaudine facilite en outre considérablement la pose de la plaque tournante.

Le mouvement est imprimé au moyen de pignons engrenant avec une crémaillère circulaire logée dans la cuve. Des tringles, manœuvrées d'en haut, servent à fixer la plaque dans les diverses positions correspondant aux voies qu'elle dessert. Le plancher est supporté par des traverses en bois reposant, d'une part, sur des poutres en fonte, d'autre part, sur des longerons en bois armés de fer qui forment le cadre rigide de la plaque.

Un seul homme peut faire tourner une de ces plaques tournantes, dont le diamètre est, en général, de 15^{m},25.

CHARIOTS ROULANTS.

C'est surtout dans les ateliers de construction que les chariots roulants (*tranfer tables*) sont employés aux États-Unis. Les ateliers du chemin de fer du Central Pacific à Sacramento, ceux du chemin de fer de Philadelphia-Reading à Reading, ceux du réseau Pennsylvanien à Meadows et à Altoona, et bien d'autres encore, ont des chariots roulants mus au moyen de petites machines à vapeur qui y sont installées.

Les chariots roulants établis par le chemin de fer Pennsylvanien dans ses ateliers de construction méritent d'être cités comme types. Ils sont placés dans des fosses de 18^{m},30 de largeur et 0^{m},53 de profondeur (pl. XXXIII, fig. 7 et 8). Les longerons en fer forgé supportant directement les rails ont 18^{m},27 de longueur, et se trouvent reliés entre eux par huit traverses de 4^{m},50 de long, dépassant symétriquement de part et d'autre les longerons. Ces traverses portent deux à deux à chaque extrémité un essieu de 114 millimètres de diamètre, sur lequel se trouvent calées des roues en fonte de 0^{m},84 de diamètre qui circulent sur quatre voies transversales posées au fond de la fosse avec 1^{m},83 d'écartement.

Une machine à vapeur, avec chaudière à vapeur tubulaire verticale, est établie à mi-longueur de la plate-forme, en dehors de la voie. Elle commande un arbre qui longe le chariot à 1^{m},60 de distance de l'axe de la voie, et qui transmet le mouvement par

quatre pignons de 13 dents et quatre roues à 75 dents, fixées sur les essieux du chariot, du côté de la machine à vapeur. Il s'ensuit que les huit roues situées d'un côté de la voie, qui font fonction de roues motrices, sont, par suite de la position de la machine, un peu plus chargées que les roues du côté opposé, qui sont simplement des roues porteuses.

L'emploi de ces chariots tend à se répandre, et il y en a maintenant dans un certain nombre de grandes stations, où ils mettent les voies du dépôt de voitures en communication avec les voies de garage. Ils sont tous à fosses; c'est pourquoi ils ne servent jamais à accéder sur les voies principales.

INSTALLATIONS POUR LE TRANSBORDEMENT D'UNE VOIE SUR UNE AUTRE.

Il a déjà été dit que les chemins de fer présentent aux États-Unis et au Canada des largeurs de voie très variées.

La nécessité du transbordement se présente donc assez fréquemment.

Lorsque les voies n'ayant pas la largeur normale et aboutissant à un chemin de fer à voie normale amènent des marchandises qui ne doivent parcourir qu'une faible longueur sur cette dernière voie on évite le transbordement en établissant, ainsi que cela se pratiquait dans le temps en Angleterre, un troisième rail correspondant à la voie à largeur non normale. Ce cas se présente surtout lorsque des usines établies le long d'un chemin de fer à voie normale sont approvisionnées de minerai et de combustible par un chemin de fer à voie étroite, débouchant à quelque distance de l'usine sur le chemin de fer principal.

La pose d'un troisième rail sur quelques kilomètres de la ligne principale sert en pareil cas à éviter le transbordement, au moins pour la grande majorité des marchandises amenées par l'embranchement.

La station, située à l'extrémité de la voie à trois rails, où s'arrête le gros des transports venant de l'embranchement, fait office de station de jonction, et il ne reste que peu de transbordements à effectuer.

Si les différences entre les largeurs de voies qui se rencontrent

sont faibles, comme, par exemple, à la jonction de réseaux dont les voies ont $4'\,8\frac{1}{2}''$ (1^{m},43), $4'\,9''$ (1^{m},45), ou $4'\,10''$ (1^{m},47), on a recours à un expédient consistant à modifier légèrement la largeur des voies pour diminuer les écarts, et à donner un excédant de largeur aux bandages des roues. Les wagons ainsi appropriés à la circulation sur des voies de largeurs différentes portent l'indication : *broad tread*, c'est-à-dire jante large. Nous reviendrons sur cette question en traitant des wagons.

Cet expédient ne peut plus être appliqué lorsque les différences de largeur de voie dépassent les limites sus-indiquées, et que les lignes raccordées ont toutes deux une certaine importance. En pareil cas, le transbordement est inévitable. Il se fait, soit en déchargeant et rechargeant les marchandises à bras d'hommes ou au moyen de grues, ou bien encore en transférant les caisses des wagons contenant les marchandises sur les trucks correspondant à la voie sur laquelle le voyage doit se poursuivre.

La construction particulière des wagons en usage en Amérique se prête aisément à cet échange de caisses et de trucks.

Les trucks, qui sont à deux, trois, ou même quatre essieux, ne sont rattachés aux caisses des wagons que par une cheville ouvrière et par deux chaînes de garde, servant à limiter la mobilité du truck par rapport au wagon. Il suffit donc de détacher les chaînes de garde pour pouvoir, soit en soulevant la caisse, soit en abaissant les trukcs, faire sortir les chevilles ouvrières de leurs crapaudines. Les trukcs ainsi détachés sont remplacés par d'autres trucks, dont les roues présentent un écartement correspondant à la voie que le wagon doit poursuivre.

L'attache des chaînes de sûreté termine cette opération, qui offre sur le transbordement des marchandises dans d'autres caisses le grand avantage d'économiser le temps et les frais de manipulation, et d'éviter les inconvénients que peuvent présenter les remaniements pour certaines marchandises.

Ce n'est pas seulement pour les wagons à marchandises que l'on a recours à ce système de transbordement. Les voyageurs continuent souvent, grâce à cette même manœuvre, leur route sur des voies de largeurs différentes, sans avoir besoin de quitter les voitures dans lesquelles ils sont installés. C'est ce qui a lieu, par exemple, à Cincinnati et à Lynchburg (Virginie), où l'on change sous les caisses des voitures à voyageurs les trucks à voie normale

des États du Nord contre les trucks à voie plus large des États du Sud, et inversement.

En général, c'est en soulevant les caisses que l'on dégage les trucks pour les remplacer par d'autres.

Disposition pour transbordement, système Ramsay. — M. R. H. Ramsay de Coburg (Canada) a toutefois imaginé une disposition[1] qui permettrait le changement des trucks sans qu'il y eût lieu d'employer de machines, soit pour soulever les caisses, soit pour abaisser et remonter successivement les trucks.

Voici comment M. Ramsay propose d'opérer :

La voie sur laquelle on fait arriver le wagon dont les trucks doivent être changés présente une faible pente descendant à environ $0^m,45$ au-dessous du niveau des voies de la station, suivie d'un palier d'environ 15 mètres, puis d'une rampe également faible, qui remonte au niveau de la station. De part et d'autre de cette fosse et tout près de son bord sont des voies étroites établies à ce même niveau. Sur chacune de ces voies se meuvent deux wagonnets.

Le wagon dont les trucks doivent être changés est placé à l'entrée de la pente; les quatre wagonnets sont rangés à côté de lui, et deux traverses introduites sous la caisse du wagon viennent porter de chaque côté sur l'un des wagonnets. En faisant simultanément avancer le wagon et les quatre wagonnets, il arrive un moment où, par suite de la descente du wagon sur la voie en pente, la caisse finit par être portée par les deux traverses soutenues par les wagonnets. En poursuivant jusqu'au palier inférieur, les trucks quittent entièrement le wagon, et ils peuvent être enlevés et remplacés par d'autres trucks que l'on amène à leur place.

Inutile de dire que la voie descendant dans la fosse est munie de quatre rails correspondant deux à deux à chacune des deux voies.

Pour faire porter la caisse du wagon sur les nouveaux trucks, on continue à faire avancer le wagon reposant sur les quatre wagonnets, tout en maintenant les trucks à l'aplomb de la caisse à l'endroit voulu. Dès que la caisse arrive à porter sur les nouveaux trucks, par suite de leur ascension sur la rampe qu'ils rencontrent après le palier intermédiaire, il est facile de retirer les traverses et de dégager ainsi le wagon.

1. M. Ramsay avait exposé un modèle des dispositions qu'il propose, à l'Exposition de Philadelphie 1876. Nous ne savons si son idée a été mise à exécution.

L'avantage de cette disposition est de n'exiger aucune installation mécanique; par contre, la durée d'une opération, pareille à celle que nous venons de décrire, est assez longue : cette opération exige un nombre considérable d'hommes ou de chevaux, ou bien une locomotive pour faire les mouvements; de plus, elle réclame des soins tout particuliers, pour que, dans la marche ascendante des trucks, les chevilles ouvrières viennent bien s'engager dans les crapaudines. Ce système est peu propre pour ces divers motifs à satisfaire aux conditions de célérité et d'économie qui s'imposent aux transbordements.

Une disposition bien plus expéditive est celle que nous avons vue fonctionner à Louisville.

Appareils à soulever les caisses des wagons. — Une voie formée de quatre rails, dont deux correspondent à la voie de $1^m,435$, et deux à celle de $1^m,525$, passe entre deux poutres horizontales d'environ 16 mètres de long, et distantes de $1^m,80$, de part et d'autre de l'axe commun des deux voies. Chacune de ces poutres est portée par trois verrins. Le wagon dont on veut changer les trucks est placé entre ces deux poutres, que l'on fait monter simultanément, à l'aide d'un système d'engrenage actionnant les verrins, après avoir amené, sous la caisse du wagon, des bras fixés contre les deux poutres. On amène les trucks dégagés sur des petites plaques tournantes situées de part et d'autre du wagon, dont on se sert pour les garer, et pour faire arriver les trucks correspondant à l'autre voie, sur lesquels on fait descendre la caisse du wagon.

La machine à vapeur qui fait mouvoir les verrins a 15 chevaux de force, et l'opération du changement de trucks ne prend que 3 ou 4 minutes par wagon vide ou chargé.

Dans un appareil semblable (*car hoist*), établi à Henderson (Kentucky), sur le chemin de fer de Saint-Louis et South Eastern, les poutres horizontales sont mues par l'intermédiaire d'engrenages symétriquement disposés par rapport à un arbre central, qui reçoit le mouvement, au moyen d'une courroie, d'une machine à vapeur installée dans une annexe du hangar de transbordement; elles ont $0^m,306$ d'épaisseur sur $0^m,356$ de haut, et $15^m,55$ de long, et elles sont portées par quatre vis verticales de 94 millimètres de diamètre extérieur.

Au lieu de bras avancés sous la caisse du wagon, on se sert à Henderson de poutres transversales, introduites sous cette caisse, que

l'on fait porter par les deux poutres longitudinales. On a remplacé les plaques tournantes par des chariots roulants, de $4^m,93$ de long, installés de part et d'autre de l'appareil élévatoire, pour faire passer sur les voies de garage les trucks retirés et y prendre ceux qui doivent les remplacer.

Des appareils de ce système, qui est dû à M. Nutter, ont été exécutés sur le chemin de fer du Grand Trunk du Canada, à Stratford et à Montréal. Les plaques tournantes paraissent en général rendre de meilleurs services que les chariots roulants pour le service du remplacement des trucks.

C'est sur le chemin de fer de l'Érié, dans la station de Buffalo, que l'on trouve l'emploi, sur la plus grande échelle, des plaques tournantes dans les appareils de transbordement. Le nombre de wagons devant passer de la voie large à la voie normale et inversement y étant très considérable, M. O. Chanute, ingénieur en chef du chemin de fer de l'Érié, a adopté une disposition qui permet l'échange immédiat des trucks entre deux wagons.

Ainsi qu'on le voit pl. XXXIII, fig. 9 à 12, deux caisses de wagons peuvent être levées simultanément. Les plaques tournantes de dégagement des trucks, au lieu d'être placées au delà des extrémités du wagon, sont rapprochées de son centre, et permettent de les faire arriver sur une grande plaque tournante située entre les deux appareils élévatoires.

Les deux trucks de chacun des deux wagons une fois amenés sur cette grande plaque, il suffit de lui faire faire un demi-tour, pour que l'échange des trucks puisse s'effectuer, en les poussant sur les petites plaques devant lesquelles ils ont été amenés, et en les ramenant ensuite en place.

Une machine à vapeur de 15 chevaux suffit, grâce à un accumulateur hydraulique où s'emmagasine pendant la manœuvre des trucks la force produite par la machine, pour soulever simultanément les deux wagons dont les trucks doivent être échangés. Toute l'installation a coûté 75 000 francs.

Ainsi qu'on le voit par la disposition des voies aux abords de la grande plaque tournante, l'appareil sert non-seulement à échanger les trucks de deux wagons, mais encore à faire arriver les trucks retirés sur les voies de garage et à y prendre des trucks tenus en réserve. C'est ce qui a lieu lorsque le nombre des wagons à faire circuler dans les deux sens n'est pas le même.

Les plaques tournantes et les chariots roulants, ainsi que les voies comprises entre les plaques ou les chariots, et celles qui s'y rattachent immédiatement, portent quatre rails symétriquement disposés par rapport à un axe commun, tandis que pour les voies de garage on ne fait pas coïncider les axes des deux voies de largeur différente et l'on ne pose que trois rails.

Là où ce moyen expéditif de transbordement des caisses n'est pas prévu et où l'on doit opérer le déchargement des wagons arrivants et recharger les marchandises sur d'autres wagons, on cherche à donner aux voies une disposition telle, que ce transbordement puisse se faire directement, c'est-à-dire sans passer par l'intermédiaire d'un dépôt et d'un transport sur les quais.

Grues. — On est généralement frappé de ce fait que, malgré la cherté de la main-d'œuvre qui porte à remplacer partout le travail manuel par celui des machines, les grues ou autres moyens mécaniques de transbordement sont assez peu répandus dans les gares américaines.

Les compagnies de chemins de fer se sont plus préoccupées d'approprier, dans chaque cas particulier, les moyens de transbordement à la nature des matériaux transportés, concentrés en grandes masses sur certains points où l'on peut appliquer à cette opération des dispositions toutes particulières, que de pourvoir les stations d'un matériel de transbordement permanent plus ou moins uniforme et susceptible de répondre à toutes les éventualités qui pourraient se présenter.

Les grues que l'on rencontre sont établies sur des wagons, de manière à pouvoir être déplacées dans l'intérieur d'une même station, ou même d'une station à une autre, ou bien elles consistent en de simples chèvres ou bigues (*derricks*), présentant des dispositions qui rappellent les installations composées de mâts et de vergues, à l'aide desquelles les navires effectuent les chargements et les déchargements. Ces installations ont l'avantage de n'exiger aucuns travaux de fondation et de pouvoir se déplacer facilement. Les haubans qui les maintiennent prennent leurs points d'attache, soit sur les rails d'une voie de garage, soit sur des points résistants des bâtiments voisins ou sur des pieux implantés *ad hoc.*

Transbordement des charbons. — Nous avons dit tout à l'heure que lorsque, dans une même station, des transbordements de matières de même nature se renouvelaient souvent et en grandes masses, on

adoptait des dispositions spéciales pour réduire le plus possible la durée et les frais de cette opération. Le charbon est une des marchandises dont le transbordement, soit des wagons à voie étroite sur les wagons à voie normale, soit des wagons dans des bateaux, se fait sur la plus grande échelle. La construction des wagons à charbon, ainsi que nous le verrons plus loin, est généralement telle, que leur déchargement peut se faire par des clapets de fond ou par les faces latérales des wagons, dont les parois s'abaissent ou s'enlèvent. Les voies d'arrivée étant placées à un niveau supérieur à celui des voies de réexpédition, le transbordement se fait à très peu de frais.

Par contre, ce transbordement immédiat, tout économique qu'il est, crée des sujétions pour l'utilisation du matériel roulant. La pratique de l'exploitation américaine tendant, avec raison, à réduire le plus possible le chômage des wagons, on établit de préférence des dépôts à trémies pouvant contenir des approvisionnements de charbon d'une certaine importance, afin de rendre les arrivages et les réexpéditions indépendants les uns des autres.

Des dispositions analogues sont prises, ainsi que nous le verrons en parlant des gares de marchandises, pour le transbordement des wagons dans les bateaux.

Tout ce qui a été dit au sujet du charbon s'applique également au transport du minerai.

Transbordement des grains. — Pour les grains, on sait qu'ils sont généralement emmaganisés dans de vastes entrepôts (*grain elevators*) dont la contenance est calculée de manière à répondre aux besoins du commerce, et non plus seulement en vue d'assurer l'indépendance des opérations de chargement et de déchargement. On connaît par les nombreuses descriptions qui en ont été faites le système de contruction de ces entrepôts.

Des chaînes à godets ou chapelets prennent le blé dans les wagons ou bateaux, pour le verser d'en haut dans une série de trémies juxtaposées ayant de 15 à 20 mètres de hauteur. Le fond de ces trémies est élevé au-dessus du bord supérieur des wagons placés sur la voie de départ. Le chargement du blé pour la réexpédition se fait en le laissant s'écouler des trémies. Généralement, c'est à ce moment que le blé est mis en sac. Le pesage se fait soit lors de l'arrivée, soit lors de la réexpédition; on se sert à cet effet d'une bascule, munie d'une benne qui se déverse dès qu'une certaine quantité de blé y a été introduite.

Un grand nombre de ces élévateurs ont été établis soit par des compagnies de chemins de fer, soit par des compagnies spéciales, à New-York, à Philadelphie, à Baltimore, à Chicago, à Buffalo, à Saint-Louis et à Montréal.

Il y en a qui peuvent contenir jusqu'à 500 000 hectolitres de blé.

Transbordement du pétrole. — Le pétrole, qui constitue le principal élément de trafic de certaines lignes de l'État de Pennsylvanie, subit également, avant son transport par voie ferrée, un emmagasinage.

De grandes cuves (*tanks*), d'une capacité de 8000 à 32 000 hectolitres, sont établies près des puits d'extraction et près des stations où se fait le chargement en wagons. Entre les cuves établies près des puits et celles des stations d'expédition des chemins de fer, le pétrole s'écoule par des conduites. Si la pente naturelle ne suffit pas, on établit des réservoirs intermédiaires, d'environ 3000 hectolitres, dans lesquels on élève le pétrole au moyen de pompes à vapeur, afin qu'il puisse s'écouler par des tuyaux jusqu'à la station d'expédition. Le réservoir de cette station est placé à un niveau tel, que les tuyaux qui servent au remplissage des wagons puissent déboucher à 2 mètres au-dessus du niveau des rails. Les wagons destinés à recevoir le pétrole sont munis de chaudières horizontales ou de cuves en tôle.

Pour opérer le remplissage des wagons destinés au transport du pétrole jusqu'au port d'embarquement, où se font l'épuration et la mise en tonneaux, un tube d'amenée, d'environ $0^m,15$ de diamètre, longe la voie de chargement et porte des ajutages horizontaux débouchant au-dessus de l'axe de la voie. En ouvrant les robinets qui ferment ces canaux, on fait arriver le pétrole dans les wagons. Comme on le voit, le chargement en wagon se fait très vite et n'exige que très peu de main-d'œuvre[1].

---

1. Pour donner une idée de l'importance des transports de pétrole, nous reproduisons ici quelques chiffres sur la production de l'huile de pétrole aux États-Unis et au Canada, que nous empruntons à un rapport du professeur H. Höfer (Vienne, 1877).

Parmi les États de l'Amérique du Nord, c'est celui de Pennsylvanie qui tient le premier rang pour la production du pétrole ; c'est du reste le seul où elle ait fait l'objet d'une statistique un peu exacte. Cette production y a commencé en 1859 (le 27 août) et elle a atteint la première année 3180 hectolitres En 1875, le même État avait 3230 puits de pétrole, produisant ensemble 13 972 135 hectolitres.

La production de pétrole était, pendant la même année 1875 : dans les États d'Ohio et de Virginie (d'après M. Wrigley), de 278 250 hectolitres, et au Canada, de 317 940 hectolitres.

Les conduites amenant le pétrole des lieux d'extraction aux stations de chargement

Prix des transbordements. — En somme, on voit qu'il ne peut guère être question d'un prix moyen de transbordement de marchandises en général, car ce prix varie non-seulement avec les conditions locales et les aménagements plus ou moins complets installés pour cette opération, mais encore pour les stations mêmes où l'on s'applique le plus à réduire les frais de transbordement, avec la nature de la marchandise.

Les adversaires des chemins de fer à voies différentes de la voie normale ont intérêt à exagérer le prix des transbordements, comme les partisans de ces voies, et surtout ceux qui patronnent les chemins de fer à voie étroite, ont intérêt à l'amoindrir.

Le colonel Hulbert, président d'un chemin de fer à voie étroite, a estimé les frais de transbordement des marchandises sous forme de colis à $0^{fr},25$ par tonne en moyenne. Un comité d'ingénieurs, appelé par la Compagnie du Western Maryland R.R. à étudier cette question, a évalué les frais de transbordement pour les mêmes marchandises à $0^{fr},50$ et $1^{fr},75$ par tonne, suivant que l'opération se faisait directement ou avec dépôt intermédiaire dans des magasins.

---

sont en fer et ont généralement un diamètre intérieur de 51 millimètres, quelquefois de 76.

La longueur de ces conduites atteignait en 1876 environ 3350 kilomètres.

En 1876, M. H. Haupt a proposé de s'affranchir complètement pour le pétrole du transport par chemin de fer, en installant en Pennsylvanie une conduite de 483 kilomètres et de $0^{m},102$ de diamètre entre les pays de production et le port de Philadelphie (*Philadelphia Inquirer* du 25 août 1876). Le nombre de stations entre lesquelles il y aurait lieu d'intercaler des réservoirs et des pompes élévatoires est de treize. Avec cette installation, M. Haupt comptait que 24 millions d'hectolitres environ pourraient être transportés annuellement. Les frais d'établissement étaient estimés comme il suit :

Établissement de la conduite..............	5015900 fr.
« des 13 stations..............	747500 »
« du télégraphe et frais divers..	486600 »
	6250000 fr.

M. Haupt prévoyait que le prix de revient du transport du pétrole à Philadelphie, au moyen de cette conduite, serait de 0 fr. 52 par hectolitre, tandis qu'il est au moins de 1 fr. 24 par la voie ferrée la plus directe, dont la longueur excède de 183 kilomètres celle de la conduite.

D'après de nouvelles communications faites par M. Haupt au mois de mars 1878, il est très probable qu'une conduite de $0^{m},15$ de diamètre, reliant la région du pétrole, située principalement dans la vallée de l'Alleghany, affluent de l'Ohio, au port de Baltimore, et devant coûter 8 750 000 fr., ne tardera pas à être exécutée (*Rail Road Gazette* du 7 juin 1878).

Pour le transbordement par changement des trucks sous les wagons, c'est-à-dire à l'aide du « *car hoist* », ce même comité estime les frais à $0^{fr},30$ par tonne en moyenne.

M. T. E. Sickels, ancien ingénieur en chef de l'Union Pacific et du Colorado Central, estime que le transbordement d'une tonne de marchandise à bras d'hommes revient environ à 1 franc. Chacun des deux chemins de fer intéressés supporte habituellement la moitié des frais de transbordement.

Comme le prix de la main-d'œuvre entre pour beaucoup dans les frais de transbordement et qu'elle est bien plus chère en Amérique qu'en Europe, il y aurait lieu de réduire ces prix de 40 à 50 0/0, pour les comparer aux frais de transbordement sur les chemins de fer français.

TROISIÈME PARTIE

GARES, STATIONS ET SIGNAUX

CHAPITRE XI

GARES ET STATIONS

Généralités sur les stations.

Les stations des chemins de fer en Amérique ont, si l'on fait abstraction de quelques gares exceptionnelles construites récemment dans les grandes villes des États de l'Est, un caractère tout particulier de simplicité.

Les bâtiments des stations sont le plus souvent des constructions que sur les chemins de fer du continent européen on ne tolérerait que comme provisoires.

Sur les voies à l'intérieur des stations, c'est l'absence des plaques tournantes, et la liberté d'accès et de passage laissée aux piétons et aux voitures, qui frappent tout d'abord.

Les circonstances dans lesquelles s'est effectué le développement des chemins de fer et de la population, et les habitudes de cette population, expliquent et justifient cette simplicité d'installation des stations.

La plupart des chemins de fer traversant au début des pays déserts ou très peu peuplés, on ne savait guère le plus souvent, en établissant une station, quelle importance elle serait susceptible d'acquérir. On pouvait même se demander maintes fois si l'emplacement choisi ne devrait pas être abandonné dans la suite.

Quoi de plus naturel, dans ces conditions, que de réduire le plus possible les travaux et les dépenses d'installation des stations?

Il n'y a pas, du reste, à faire un mérite de cet esprit d'économie aux ingénieurs américains. Ils y étaient contraints sous peine de ne pouvoir, avec les faibles ressources dont ils disposaient, achever les lignes entreprises.

Le public comprenait parfaitement cette situation. Il trouvait et trouve encore tout naturel que les chemins de fer appliquent les premiers fonds qu'ils peuvent prélever sur les produits de l'exploitation à perfectionner la voie courante, les voitures et les locomotives, et qu'ils ajournent l'amélioration et l'embellissement des stations.

Les stations n'ont pas en effet pour le voyageur américain la même importance que pour le voyageur européen. En Europe, le voyageur est tenu de faire un séjour plus ou moins prolongé dans la station pour y prendre son billet, y faire enregistrer ses bagages, et y attendre qu'il lui soit permis de monter dans le train; il doit être d'autant moins empressé à quitter la station, qu'une fois en wagon il sera enfermé dans un compartiment et n'aura plus la liberté de ses mouvements. Dès lors, on comprend que les compagnies se mettent en frais pour qu'il puisse trouver tout le confort désirable dans les stations.

Le voyageur américain, au contraire, arrivant le plus souvent déjà muni de son billet pris à l'hôtel et précédé par son bagage dont il n'a pour ainsi dire pas à s'occuper, grâce à un système d'enregistrement que nous décrirons plus tard, ne fait en quelque sorte que traverser la station pour aller s'installer dans le train, où il est sûr de pouvoir circuler librement d'un wagon à l'autre et de trouver toutes ses aises; il se préoccupe médiocrement de rencontrer momentanément dans la station un bien-être dont il est sûr de jouir constamment une fois en voiture. Ce qui l'intéresse surtout, c'est la bonne installation du matériel roulant, et le bon é[illegible] de la voie, qui peuvent contribuer à l'agrément et à la sécurité [illegible] voyage.

Les gares, dont l'importance est surtout déterminée le plus souvent par les besoins de la traction, se réduisent donc en général pour le service des voyageurs aux installations les plus essentielles; mais les compagnies ne perdent pas pour cela de vue les améliorations qu'elles comportent; c'est seulement une affaire de temps et d'argent.

Il est cependant des cas où il devient nécessaire pour les compa-

gnies d'assurer aux voyageurs dans les stations, non seulement un abri, mais encore les moyens de se procurer de la nourriture et un gîte pour la nuit.

Ce cas est celui des chemins de fer traversant des pays déserts; sur les lignes de l'Union et du Central Pacific, par exemple, il a été établi par les compagnies des hôtels et des restaurants à proximité des stations ou dans les stations mêmes, auxquels d'autres établissements du même genre, appartenant à des particuliers, n'ont pas tardé à faire concurrence.

Au début, ces compagnies avaient organisé des restaurants ambulants en ajoutant aux trains, aux heures des repas, des voitures avec des aménagements spéciaux pour cuisine et salles à manger. Le public ne paraît pas s'être accommodé de cette manière de prendre ses repas, et l'on ne voit plus guère de wagons-restaurants (*dining cars*).

Quant aux installations pour le service des marchandises, elles consistent en général en hangars économiquement construits en bois, faciles à agrandir et à déplacer, sous lesquels les marchandises attendent leur chargement ou leur enlèvement quand elles sont déchargées. Ces hangars ne sont pas habituellement établis de manière à servir d'entrepôts, à moins que des circonstances locales ne fassent de cette installation l'objet d'une spéculation avantageuse pour les compagnies.

Les compagnies de chemin de fer n'accordent en général que 24 heures de dépôt en franchise dans leurs magasins, et elles font payer ensuite des droits de magasinage plus ou moins élevés: il dépend donc d'elles de faire que des magasins de peu d'étendue puissent suffire à un mouvement considérable de marchandises.

L'absence des plaques tournantes s'explique, ainsi que nous l'avons déjà dit en parlant de ces appareils, par la grande longueur des voitures et wagons, qui exigeraient des plaques de 15 à 16 mètres de diamètre, constituant des installations très coûteuses. On s'arrange en général de manière à pouvoir faire les mouvements au moyen de changements de voie intercalés dans les faisceaux des voies de garage, et assez rapprochés pour permettre de passer d'une voie à une autre sans imposer aux wagons de trop longs parcours.

Dans les petites stations, les mouvements de wagons sont effectués, lorsqu'ils n'ont pas été déjà faits par les locomotives au moment

du passage des trains, soit par des chevaux, soit à bras d'hommes.

Dans les grandes stations, des locomotives spéciales sont affectées à ce service (*pushers*). En général, ces petites machines ne s'engagent pas sur la voie même sur laquelle se trouvent les wagons à déplacer, mais sur une voie voisine, et elles sont munies de béquilles fixées sur leur partie antérieure, qui viennent s'appuyer contre le châssis du wagon à déplacer sur la voie contiguë. Cette manœuvre, dont il sera parlé avec plus de détail en traitant du matériel roulant, influe assez sur la disposition des voies pour qu'il paraisse utile de la mentionner dès à présent.

Le public américain, en contact permanent avec la voie ferrée, étant habitué à veiller seul à sa propre sécurité, les chemins de fer ont pu s'affranchir des sujétions qu'entraîne dans les stations l'interdiction du passage des voies. Ce n'est que lorsque la circulation à travers les voies très fréquentées elles-mêmes devient considérable, que l'on a fait des travaux pour éviter les passages à niveau [1], autant dans l'intérêt de la liberté du mouvement des trains que dans celui de la sécurité du public.

L'extension des voies et des bâtiments des stations se fait suivant les besoins. On opère de même des réductions dès que, par suite de circonstances quelconques, l'importance d'une station vient à diminuer.

Dans ces conditions, on comprend que les stations des chemins de fer américains se prêtent difficilement à une classification. Sur certains chemins de fer, comme ceux de Pennsylvanie et de Louisville et Nashville, on a toutefois assujetti à quelques règles la dimension transversale des bâtiments, pour la commodité des réparations et de l'entretien. On se borne à allonger ou à raccourcir plus ou moins ces bâtiments, pour à en conformer les dispositions intérieures aux besoins variables du service.

Le développement et la disposition des voies dans les gares ne sauraient davantage, autrement que dans des limites très larges, servir de base à une classification des stations. Il s'ensuit que la ligne de démarcation n'est pas mieux tracée entre les haltes et

---

1. On peut citer comme exemple la station d'Altoona sur le chemin de fer Central Pennsylvanien, où une passerelle pour piétons permet aux ouvriers et autres personnes de se rendre de la ville aux ateliers qui sont de l'autre côté de la voie, sans s'exposer aux dangers que présentent les voies très fréquentées de cette station importante.

les petites stations qu'entre les petites stations et les stations moyennes.

Espacement des stations. — Il n'est pas de pays où l'espacement des stations soit aussi variable que dans l'Amérique du Nord, où la population, dispersée sur d'immenses étendues, est en général peu agglomérée, et fort inégalement distribuée, même dans les États les plus anciennement colonisés [1]. Il en résulte que le plus souvent sur une même ligne l'espacement des stations varie considérablement.

Aux abords des grandes villes, les chemins de fer desservent, par une série de petites stations très rapprochées, la banlieue qui occupe une zone considérable autour d'elles. Le voyage en chemin de fer rentre tellement dans les habitudes américaines, que le service de la banlieue y est d'une importance bien plus grande que chez nous, où il n'en acquiert généralement que pendant la saison d'été.

Souvent les chemins de fer pénètrent jusqu'au centre des grandes villes, et, dans ce cas, il y a un certain nombre de haltes sur le parcours dans l'intérieur de la ville pour desservir les quartiers traversés.

Les trains à destinations éloignées ne s'arrêtent toutefois que dans les stations de quelque importance.

Le tableau ci-après donne, pour les abords de quelques villes, l'écartement des stations dans un rayon d'une cinquantaine de kilomètres.

L'espacement des stations dans les contrées peu peuplées est souvent poussé bien au delà des limites admises en Europe.

1. En 1870, date du dernier recensement, le chiffre de la population, rapportée au kilomètre carré, dépassait 50 habitants dans les districts industriels des États de Massachusetts, New-York, New-Jersey, Pensylvanie; il variait entre 15 et 30 dans la partie septentrionale de l'État de New-York, le Maine, la Pensylvanie centrale et dans les États de l'Ouest (Ilinois, Michigan, Indiana, Ohio), voués principalement à la production agricole : ce chiffre était inférieur à 15 dans tous les anciens États à esclaves du Sud, et n'atteignait pas 2 dans la plupart des États et territoires situés sur la rive droite du Mississipi.

DÉSIGNATION de la VILLE.	NOM du CHEMIN DE FER.	LONGUEUR de la section en kilom.	NOMBRE de stations dans cette section.	ESPACEMENT moyen des stations en kilomètres.	OBSERVATIONS.
New-York...	Pennsylvania R.R.[1]	49,90	19	2,62	[1] La station de départ se trouve à Jersey-City, c'est-à-dire sur la rive dr. de l'Hudson, en face de New-York.
	Northern R. R. of New-Jersey[1].	46,70	14	3,34	
	New-York Central et Hudson River.	40,25	12	3,35	
	Central R. R. of New-Jersey[1].	30,60	14	2,19	
Philadelphie.	West-Jersey R. R.[2]	54,70	14	3,90	[2] La station de départ se trouve à Camden, c'est-à-dire sur la rive g. de la Delaware, en face de Philadelphie.
	Philadelphia, Wilmington et Baltimore R.R.	45,10	18	2,51	
	Philadelphia et Reading R. R.	40,25	12	3,35	
	Pennsylvania R.R. (Amboy Divon)[2].	30,60	10	3,06	
	Pennsylvania R.R. (Paoli Line)[2].	30,60	16	1,91	
Pittsburg....	Pennsylvania R.R. (Pittsburg-Walls).	24,10	18	1,34	La station de départ se trouve dans l'intérr de la ville.
Chicago.....	Chicago et Pacific R. R.	58,00	13	4,46	»
	Chicago, Danville et Vincennes R.R.	54,70	12	4,56	»
	Chicago et North-Western R. R.	48,30	12	4,03	»
San Francisco.	Central Pacific R.R. (San José Line).	48,30	8	6,04	»

Le tableau que nous donnons ci-après, relatif à l'espacement des stations sur des chemins de fer traversant diverses régions du territoire nord-américain, prouve, ainsi qu'il a été dit plus haut, qu'il

n'est guère possible de parler d'un espacement moyen des stations sur les chemins de fer en Amérique :

NOM DE LA LIGNE du CHEMIN DE FER.	POINTS EXTRÊMES de la LIGNE.		DISTANCE totale en kilom.	NOMBRE de stations intermédiaires.	DISTANCE	
					moyenne en kilom.	maxima en kilom.
Central Pacific R.R.	Denver.	Cheyenne.	171	11	14,2	30,9
» » »	Ogden.	San Francisco.	1420	101	13,9	32,1
Union Pacific R.R.	Omaha.	Ogden.	1660	130	12,6	21,5
Kansas Pacific R.R.	Kansas City.	Denver.	1027	81	12,5	24,4
Grand Trunk Railway of Canada...	Montréal.	Toronto.	536	50	10,5	17,6
Pittsburg Fort Wayne et Chicago R.R........	Chicago.	Crestline.	450	63	7,0	12,7
Baltimore et Ohio R. R............	Piedmont.	Parkersburg.	286	42	6,8	11,7
Pennsylvania R. R.	Pittsburg.	Harrisburg.	400	66	6,0	13,0
Philadelphia, Wilmington and Baltimore R. R.....	Baltimore.	Philadelphia.	158	37	4,3	9,6
Philadelphia et Reading R. R.......	Philadelphie.	Pottsville.	150	35	4,2	8,0
Parker et Karns-City R. R.[1].....	Parker-City.	Karns-City.	16	9	1,6	—

1. Chemin de fer à voie étroite, s'embranchant à Parker-City sur le Lehigh Valley R.R. et desservant l'une des plus riches contrées de pétrole de la Pennsylvanie occidentale.

Haltes intermédiaires. — Tant pour parer aux inconvénients résultant pour le service de la traction de la grande irrégularité de l'espacement des stations, que pour s'affranchir dans le choix de l'emplacement des stations de préoccupations relatives à l'alimentation des machines, et pour favoriser le développement de colonies ou d'établissements nouveaux, on n'a pas hésité sur quelques lignes à interposer entre les stations, des haltes, soit pour alimenter les locomotives d'eau ou de combustible, soit pour prendre ou laisser des voyageurs ou des wagons de marchandises.

Il suffit que l'on rencontre une bonne source entre deux stations qui n'en offrent pas d'aussi abondante ou aussi propre à l'alimen-

tation des machines, pour que l'on affecte une halte spéciale au service des eaux. On en fait autant pour le combustible, si, entre deux stations très éloignées, se trouve, soit une mine de charbon récemment ouverte, soit une forêt, lorsque l'on chauffe au bois. L'un et l'autre cas se présentent pour beaucoup de chemins de fer des États du Sud et du Pacifique.

On trouve des haltes facultatives pour voyageurs sur un certain nombre de chemins de fer, à la rencontre des routes de quelque importance, à mi-chemin entre des stations très écartées l'une de l'autre.

L'installation de ces haltes est ce qu'il y a de plus simple, et n'entraîne pas de dépense pour l'exploitation. Sous un abri, établi à côté de la voie courante, se trouve suspendu un drapeau que le voyageur, voulant prendre le train, n'a qu'à agiter pour le faire arrêter.

Les voyageurs qui veulent descendre à cette halte préviennent un peu à l'avance le conducteur, qui en donne avis au mécanicien au moyen d'une corde faisant sonner un timbre placé sur la locomotive. Les voyageurs, en passant d'une voiture à une autre, sont sûrs de pouvoir retrouver à chaque instant le conducteur, qui du reste circule souvent d'un bout à l'autre du train.

Pour le service des établissements industriels situés entre les stations, on établit des voies de garage spéciales. Le changement de voie donnant accès à la voie de garage et celui qui relie les deux voies principales en cet endroit sont toujours cadenassés et disposés de manière à assurer la circulation sur ces dernières voies.

Petites stations. — Dans les petites stations, il y a généralement une voie d'évitement de 300 à 750 mètres de longueur [1]. Si le service des marchandises prend de l'importance, on ajoute une deuxième voie de garage dont la longueur varie habituellement de 300 à 500 mètres. Cette voie de garage se place généralement du côté du bâtiment des voyageurs, et s'arrête en face du local affecté au service des marchandises, mais on n'hésite pas à la prolonger au delà du bâtiment des voyageurs, si les besoins de ce service

---

1. Sur le chemin de fer de l'Union Pacific, les trains de marchandises sont composés de 28 wagons. C'est sur cette longueur de train que l'on s'est réglé en s'astreignant à donner au moins 300 mètres de longueur utile à la voie d'évitement dans les plus petites stations de cette ligne, construite à simple voie sur tout son parcours.

l'exigent, lors même que ce prolongement vient couper le chemin d'accès de la gare.

En raison des habitudes américaines, la nécessité pour les voyageurs de traverser cette voie n'est pas considérée comme un inconvénient sérieux.

L'emplacement du bâtiment, qui dans les petites stations contient les locaux nécessaires pour le service des voyageurs et le service des marchandises, et quelquefois le logement de l'employé de la station, dépend de considérations locales. Ainsi, sur le chemin de fer de l'Union Pacific, sur lequel les amoncellements de neige créent souvent[1] des obstacles graves à l'exploitation, on place le bâtiment et la deuxième voie du côté opposé à celui d'où souffle le vent régnant, afin que les amoncellements qui tendent à se former en arrière de tout obstacle opposé à la neige ne puissent pas s'étendre sur la voie principale.

Pour faciliter l'accès des voitures et des wagons, on établit généralement des quais; mais dans les plus petites stations on se borne souvent à donner au sol une certaine surélévation de part et d'autre des voies, pour que les voyageurs puissent plus facilement monter en voiture; plus généralement, on fait des quais de $0^m,15$ à $0^m,30$ de haut, dont on réduit parfois la longueur dans les petites stations à une dizaine de mètres. Dans celle de Rowlett, sur le chemin de fer de Louisville-Nashville, que nous reproduisons (pl. XXXIV, fig. 1), le quai des voyageurs n'a pas plus de longueur que la partie affectée au service des voyageurs dans le bâtiment.

Le fait est qu'avec les dispositions des voitures américaines il n'est pas absolument nécessaire que les quais s'étendent sur toute la longueur d'un train. Les voyageurs montent dans la voiture qui se trouve en face du quai, et peuvent ensuite, en circulant d'une voiture à l'autre, choisir ou retrouver leurs places dans une voiture quelconque, après la mise en marche du train.

Les quais pour marchandises ont généralement un mètre de hauteur; leur longueur se règle sur l'importance du mouvement en marchandises; la majeure partie des petites stations étant complè-

1. En 1873, la marche des trains sur l'Union Pacific a été interceptée, ainsi que nous l'avons dit en parlant des abris contre la neige, pendant plus de quinze jours, par les neiges. C'est à la suite de cette interruption que l'on a supprimé beaucoup de petites tranchées dans lesquelles les neiges s'amoncelaient.

tement dépourvues de grues, il importe, beaucoup plus sur les chemins de fer d'Amérique que sur ceux d'Europe, de faciliter le transbordement des marchandises en mettant les quais à peu près de niveau avec le plancher des wagons. Cette disposition se trouve d'ailleurs reproduite dans un grand nombre d'entrepôts et de magasins à l'intérieur des villes. Dans la petite station de Rowlett, le quai des marchandises a 22 mètres de longueur.

Stations moyennes. — Les stations moyennes possèdent toujours en dehors de la voie courante, simple ou double, une ou deux voies de garage. Les services des voyageurs et des bagages se trouvent installés dans le même bâtiment, tandis que celui des marchandises occupe un bâtiment à part, souvent placé du même côté que le premier. De plus, lorsque ces stations se trouvent éloignées des centres de population, il y a un buffet ou restaurant, qui tantôt forme une aile du bâtiment des voyageurs, tantôt occupe un emplacement spécial à proximité de ce bâtiment.

Les locaux des restaurants ou buffets sont généralement surmontés d'un étage renfermant, ou bien des chambres dans lesquelles les voyageurs peuvent passer la nuit, ou bien le logement d'un employé.

Il en est de même pour les stations où les immigrants arrivent pour former de nouveaux établissements (*settlements*). C'est ainsi que sur le chemin de fer de Denver Rio-Grande il y a un certain nombre de stations moyennes, auxquelles on a même ajouté des bâtiments en bois (*frame houses*), où les immigrants trouvent en débarquant un premier asile.

Les quais des voyageurs ont généralement dans les stations moyennes une longueur égale à celle des trains, c'est-à-dire de 80 à 120 mètres, suivant le nombre des voitures formant en moyenne un train. Cette longueur de quai paraît souvent excessive par rapport au mouvement de voyageurs que ces stations desservent.

Si les marchandises qui constituent le principal article de transport d'une station sont d'un maniement difficile à cause de leur poids ou de leur volume, comme cela a lieu pour les pierres de taille, les balles de coton, les pièces de fonte d'un poids considérable, nous avons souvent vu des bigues (*derricks*) installées d'une manière provisoire ou définitive pour en opérer le transbordement.

Dans les stations qui font des expéditions de bétail, on a toujours

soin d'établir des enclos pour les recevoir, et des plans inclinés pour les faire arriver sur les quais de chargement.

Si la station renferme un service d'alimentation pour les machines, il n'y a souvent, ainsi que nous le verrons par la suite en parlant de l'alimentation des locomotives, qu'une seule prise d'eau. Il existe toutefois des lignes sur lesquelles on munit chaque station dans laquelle se fait l'alimentation, comme en Europe, de deux prises d'eau, l'une à l'entrée et une seconde à la sortie de la station.

L'espacement des stations pourvues d'un service d'alimentation d'eau varie suivant le profil des lignes exploitées et le système de locomotives; il est en moyenne de 30 à 32 kilomètres. On trouve cependant des lignes, comme celle de Louisville-Nashville, où il ne dépasse pas 23 kilomètres.

Sur les chemins de fer où il n'y a pas de raisons particulières pour prendre le combustible en des points spéciaux situés en dehors des stations de rechange des locomotives, espacées en moyenne de 120 à 160 kilomètres, l'alimentation de combustible se fait dans ces stations mêmes.

En dehors des bâtiments et voies ordinaires, ces stations contiennent une remise pour locomotives, une plaque tournante avec ses voies d'accès, et des aménagements pour le dépôt et le chargement du combustible.

Sur la ligne de Louisville-Nashville que nous venons de citer, où il existe un certain nombre de haltes pour l'approvisionnement du bois servant de combustible en dehors des stations, les points d'approvisionnement sont espacés en moyenne de 90 kilomètres, tandis que la distance moyenne entre les stations de rechange pour locomotives est de 144 kilomètres.

Les stations moyennes sur les chemins de fer à grand trafic sont généralement couvertes par des signaux placés, ainsi que les aiguilles des changements de voie, sous la surveillance de gardes logés dans de petites maisonnettes aux abords des stations.

Grandes stations. — Les grandes stations sont des *stations intermédiaires*, ou elles forment *têtes de ligne.*

Dans les deux cas, on cherche à séparer complètement le service des voyageurs de celui des marchandises. De plus, le service de la traction et les ateliers de réparation, qui se trouvent généralement près des grandes stations, forment une troisième subdivision. On comprend que ce n'est pas toujours sur l'importance de la ville que

se règle l'importance de la station. C'est ainsi qu'Omaha, ville d'environ 20 000 habitants, est une station très importante par le seul fait de sa position. Elle forme la tête Est de la ligne du Pacifique, et c'est vers elle que convergent la plupart des lignes mettant l'Est en communication avec l'Ouest. Tandis qu'à Omaha ce sont les services des voyageurs et des marchandises qui donnent une grande importance à la station, Altoona, station du chemin de fer de Pennsylvanie, doit surtout son importance à la grande extension des ateliers que la compagnie du Pennsylvania R. R. a établis près de cette ville d'environ 12 000 habitants.

Dans les grandes stations, les voies principales ne suffisent plus pour le service des voyageurs, qui se complique généralement d'un service de banlieue et de celui de plusieurs embranchements. Les voies principales pour le service des voyageurs sont généralement groupées deux à deux ou trois à trois entre des trottoirs ou quais. S'il y a des groupes de 3 voies, celle du milieu sert de garage pour les voitures.

Sauf quelques cas bien rares, comme, par exemple, celui de la station du New-York Central R. R., dans la 42e rue à New-York (fig. 3, pl. XXXV), où des chariots roulants sont utilisés pour prendre des voitures dans les remises et les intercaler dans les trains, c'est uniquement à l'aide de changements de voie que se font toutes les modifications dans la composition des trains. Aussi cherche-t-on à décomposer le moins possible les trains, et il y a des voitures qui restent pendant des mois invariablement dans le même train. Pour faciliter toutefois les manœuvres de composition et de décomposition des trains, on intercale entre les deux extrémités du faisceau des voies correspondant à chaque grande station un grand nombre de diagonaux destinés à remplacer les plaques tournantes.

Les nombreux changements de voie ainsi accumulés dans un espace relativement restreint sont commandés par des appareils de sûreté concentrant la manœuvre de toutes les aiguilles et de tous les signaux entre les mains d'un seul agent.

Cette organisation de signaux se rencontre notamment à la gare du chemin de fer de New-York Central et Hudson River à New-York, et aux gares du Pennsylvania et du Philadelphia-Wilmington et Baltimore R. R. à Philadelphie.

Les voies principales affectées au service des voyageurs sont tou-

jours abritées, soit par des halles à grande portée, comme celle de la gare de la 42ᵉ rue à New-York (fig. 3, pl. XXXV) et celle de la nouvelle gare de Chicago, soit par une série de toits isolés recouvrant des groupes parallèles de voies et de quais, que complètent des marquises recouvrant des voies situées sur le côté extérieur des quais, comme cela a lieu dans les gares de West-Philadelphia (fig. 2 et 4, pl. XXXVI) et de Jersey-City (fig. 2 à 4, pl. XXXXII) sur le chemin de fer de Pennsylvanie, ou bien des toits abritant les quais d'accès et s'étendant jusqu'au-dessus des faces latérales des voitures, comme à Kansas-City (fig. 3 et 4, pl. XXXVIII).

Ainsi que cela se pratique dans les grandes gares en Angleterre, les voitures qui amènent ou prennent les voyageurs ont accès à l'intérieur de certaines gares.

Dans la gare déjà citée de la 42ᵉ rue de New-York (*Grand Central depot*), les tramways pénètrent sous la halle pour que les voyageurs, quittant les voitures du chemin de fer, n'aient que quelques pas à faire pour prendre place dans celles du tramway.

Grandes gares de marchandises. — Dans les grandes stations, les voies des gares de marchandises s'embranchent sur un certain nombre de voies principales et forment des faisceaux aboutissant aux quais de chargement. Quoique moins fréquemment que dans nos gares, on y rencontre des grues ou des bigues (*derricks*) pour faciliter le chargement des marchandises. De plus, des ponts-bascules de longueur suffisante pour peser un ou plusieurs wagons simultanément ne manquent jamais.

Dans les gares de marchandises où se fait le triage des wagons de diverses provenances et destinés à être réexpédiés dans de nouveaux trains, les voies sont généralement établies avec de légères pentes, pour que les wagons abandonnés à eux-mêmes arrivent par l'action de la gravité sur les voies auxquelles ils sont destinés.

Les ponts-bascules se placent également dans des voies en pente, afin qu'une légère impulsion suffise pour faire arriver sur le plateau de la balance les wagons à peser.

Exemples de stations.

Nous avons déjà dit qu'il n'y avait pas en Amérique de types de stations bien arrêtés, et que le propre des stations était de s'adap-

ter mieux que partout ailleurs aux besoins variables des localités et du trafic. Les stations de peu d'importance deviennent souvent d'un jour à l'autre, par le développement rapide des villes qu'elles desservent, des stations considérables, et l'on ne se décide que très rarement à les remanier tout à fait, comme cela a été fait, par exemple, à New-York, pour la station du chemin de fer de New-York Central et Hudson River.

C'est donc surtout par des exemples que l'on peut donner une idée de la disposition des stations sur les chemins de fer en Amérique. C'est ce que nous ferons en fournissant quelques détails sur le service qui se fait dans chacune des stations que nous allons décrire.

Station de Rowlett. — La station de Rowlett (pl. XXXIV, fig. 1 à 4), petite station sur le chemin de fer de Louisville-Nashville [1], qui est à voie unique, est établie en ligne droite. Une seule voie de garage est rattachée à la voie principale par deux changements de voie, et se trouve à une distance de $3^{m},66$ mesurée d'axe en axe de cette voie. La longueur utile de cette voie de garage est d'environ 250 mètres, la distance entre les pointes des aiguilles étant de 275 mètres.

Les clôtures sont placées à environ 10 mètres de part et d'autre de l'axe de la voie principale. Dans la cour se trouvent le bâtiment de la station, un enclos pour le bétail et une maison de garde. Une buvette est établie en face du bâtiment, et oblige les personnes qui veulent s'y rendre à traverser les deux voies. Le bâtiment de la

---

1. Dans l'année 1876-1877, la station de Rowlett a desservi le mouvement suivant :

Marchandises........	Départ.....	2146 tonnes.	2656 tonnes.
	Arrivages ..	508 »	
Voyageurs...........	Départ.....	1785 voyag[s].	3424 voyageurs.
	Arrivées....	1639 »	
Les recettes ont été..........	Marchandises		44 081 fr. 75
	Voyageurs........		10 519 » 25
Total			54 601 fr. 00

Les marchandises expédiées étaient principalement : du tabac (684 tonnes), des céréales (356 tonnes) et du bétail (91 wagons).

Les dépenses d'exploitation de la station ont été :

Pour les marchandises, 3338 fr. 75, soit, par tonne, 1 fr. 25 ;

Pour les voyageurs, 313 fr. 55, soit, par voyageur, 0 fr. 092.

Ces frais comprennent le traitement de l'employé unique, le salaire des hommes de peine faisant le chargement et le déchargement, enfin les frais de bureau et d'entretien.

station renferme le bureau, la salle d'attente, et un magasin pour marchandises d'une superficie de 167^{mq},5. Le petit quai des voyageurs qui longe le bureau et la salle d'attente est élevé de 0^{m},25 au-dessus du niveau de la voie; la surélévation a été portée à 1^{m},22 pour le plancher et le quai du magasin.

Cette station n'est pas une des plus petites, car il y en a qui n'ont pas de voie de garage du tout, ou qui ont seulement un tronçon de voie d'une cinquantaine de mètres, relié à la voie unique par un seul changement pour recevoir quelques wagons.

Station de Harvard. — Cette station est située sur un embranchement de la ligne de Chicago et North Western, dirigée de Rockford (Illinois) vers le port de Kenosha, sur la rive occidentale du lac Michigan, près du croisement de cet embranchement avec la ligne principale allant de Chicago à Saint-Paul, capitale du Wisconsin, par Madison.

La station de Harvard[1] (pl. XXXV, fig. 6) n'a qu'un faible mouvement de marchandises; par contre, le service des voyageurs y est assez considérable, à cause du voisinage d'un point de bifurcation important. Aussi y trouve-t-on un quai de 76 mètres de longueur devant le bâtiment des voyageurs, et une voie de garage pour voitures de chaque côté de la voie principale. L'existence d'une remise pour une locomotive et d'une plaque tournante est une des particularités de cette station, que l'absence de tout aménagement spécial pour les marchandises pourrait faire ranger parmi les petites stations, si, par le développement donné aux installations pour le service des voyageurs et celui des machines, elle ne se rapprochait des stations moyennes.

La distance extrême des changements de voie terminant la voie d'évitement est de 550 mètres; les voies de garage ont des longueurs utiles de 220 mètres et 320 mètres; la première, située du côté du bâtiment des voyageurs, est reliée par deux changements de voie à la voie principale.

Station de Cheyenne. — Cette station, située sur le chemin de fer de l'Union Pacific, à 830 kilomètres d'Omaha, au pied des Montagnes Rocheuses et au point de jonction d'un embranchement

---

1. Les plans de cette station et de celles de Harrisburg et de Cheyenne, reproduits sur l'atlas, ainsi qu'une grande partie des renseignements qui s'y rapportent, sont empruntés à la publication de M. H. Bartels sur l'*Exploitation des chemins de fer en Amérique*.

dirigé sur Denver, capitale du Colorado, emprunte à la fois son importance à cette situation et aux services de l'exploitation qui y sont concentrés. Cette localité, qui ne comptait encore en 1876 que 313 habitants, offre d'ailleurs fort peu de ressources.

Placée sur une section de l'Union Pacific qui renferme des rampes de 13 à 17 millimètres par mètre, généralement franchies avec des machines de renfort, la station de Cheyenne a été pourvue d'une demi-r onde pour 20 locomotives, au centre de laquelle est une plaque tournante (pl. XXXVII, fig. 7). Cette plaque tournante serait bien suffisante pour le service de deux lignes, mais, pour pouvoir assurer aux trains de la ligne de Denver la même composition au retour, on a préféré établir une courbe de rebroussement qui, précédée d'une voie de tête de plus de 300 mètres de long, permet de faire rebrousser des trains entiers.

Tous les trains de voyageurs viennent s'arrêter devant le bâtiment des voyageurs; pour faciliter la décomposition et la recomposition des trains de marchandises de la ligne de Denver, on a établi deux voies de garage spéciales, raccordées avec les voies principales et se prêtant à toutes les manœuvres que nécessitent ces opérations.

L'importance de la rotonde et le service assez rude que font les machines de ce dépôt y ont fait annexer des ateliers de réparation. Les voies qui desservent cette partie de la station passent près des dépôts de charbon et du réservoir d'alimentation.

Quant au bâtiment des voyageurs, renfermant au rez-de-chaussée un restaurant, il est surmonté d'un étage où sont des chambres pour les voyageurs qui ne trouveraient pas d'autre gîte dans ce pays désert.

Les bureaux et les logements des employés des deux services sont installés dans des bâtiments situés entre le bâtiment des voyageurs et le magasin contigu à la troisième voie qui sert à garer les trains de marchandises de l'Union Pacific.

Station de Louisville. — Le plan reproduit (fig. 12, pl. XXXIV) se rapporte à la station de tête de la ligne de Louisville-Nashville, qui, ainsi que nous l'avons vu à propos du tracé de cette ligne, se prolonge jusqu'à Montgomery (Alabama). La ligne de Louisville, New-Albany et Chicago, celle de Louisville-Cincinnati et un embranchement du chemin de fer de l'Érié (Jefferson division), viennent aboutir à Louisville dans deux autres gares, mais les voyageurs

amenés par ces lignes peuvent néanmoins continuer leur route jusqu'à la gare du chemin de fer de Louisville-Nashville.

Le chemin de fer de Jeffersonville, Madison et Indianapolis se relie à la ligne de Louisville-Nashville à l'intérieur même de cette gare.

Cette station contient, en même temps qu'une gare de voyageurs et de marchandises [1], un grand atelier de réparations. Grâce à l'espace dont on disposait encore à l'époque à laquelle remonte l'établissement de la station, éloignée dans le principe des quartiers habités, on a pu installer tous les services à proximité les uns des autres, et assez à l'aise pour qu'ils ne s'entravent pas.

Le chemin de fer de Louisville-Nashville, étant construit avec la voie de 5 pieds ($1^{m},525$), qui est la plus commune dans les États du Sud, tandis que les lignes venant du Nord qui y aboutissent

---

1. Le mouvement de la station de Louisville est très important. Voici quel a été le mouvement de cette station dans l'exercice 1876-1877 :

Marchandises........	expédiées.	305 254 tonnes.	678 578 tonnes.
	reçues....	373 324 »	
Voyageurs..........	partis....	79 684 voyag^{s}.	164 680 voyag^{s}.
	arrivés...	84 996 »	

Les recettes de la station ont été :

Marchandises......................	6 852 054 fr.	8 690 555 fr.
Voyageurs.........................	1 838 051 »	

Les dépenses d'exploitation se sont élevées pour la même période :

	SERVICE DES	
	Marchandises.	Voyageurs.
	fr. c.	fr. c.
Employés.....................	62 042,00	15 498,50
Chargement et déchargement........	324 651,65	—
Manœuvres de gare................	149 100,70	26 311,90
Dépenses générales...............	25 720,05	26 967,15
	561 534,40	68 777,55
	630 311 fr. 95	

Soit 0 fr. 81 par tonne de marchandise et 0 fr. 42 par voyageur.

On remarquera dans ces chiffres la dépense d'environ 0 fr. 48 par tonne de marchandise arrivée ou expédiée pour chargement et déchargement.

Il est certain que sur ce chiffre des réductions pourraient être faites par la substitution sur une plus grande échelle des machines à la main-d'œuvre pour ces opérations.

sont à voie normale, il y a eu lieu de faire exécuter certaines voies à trois rails, pour correspondre aux deux largeurs de voie.

Le service des voyageurs exige à la fois des aménagements pour les trains de transit se dirigeant vers le Sud et inversement, et pour les trains dont le parcours se termine à Louisville. La halle couverte a 122 mètres de long; elle n'abrite que deux voies spécialement affectées au service local, tandis qu'une autre voie établie sous une marquise est affectée aux trains de transit (*through trains*). La longueur de voies abritées est de 366 mètres : des quais longent les voies sur toute cette longueur. Les salles d'attente sont spacieuses et suffisamment nombreuses pour permettre la division des voyageurs suivant le sexe et la couleur.

Le service des bagages est installé de telle sorte que les voitures puissent venir déposer ou prendre les colis tout près du lieu de chargement. La remise des wagons se trouve commodément placée à angle droit et à proximité de la halle des voyageurs.

Le service des marchandises est divisé en deux parties.

Le service des bois de charpente et des grains se fait entre la 10e et la 11e rue, tandis que le reste du service se fait entre la 9e et la 10e. C'est le long de la 9e rue que se trouvent les bâtiments du service des marchandises, tels que hangars, magasins et bureaux.

Quatre voies pénètrent sous le hangar, qui a 93 mètres de long.

Entre les deux services de marchandises, et à peu de distance du service des voyageurs, sont établies deux rotondes pouvant contenir chacune 16 locomotives. Ces dépôts se trouvent directement reliés avec les ateliers de réparation et de construction des locomotives et des wagons, tandis que les ateliers pour les voitures ont été établis entre la 10e et la 11e rue.

Station de Harrisburg. — La station de Harrisburg (pl. XXXV, fig. 2) sur le chemin de fer de Pennsylvanie est située à 169 kilomètres de Philadelphie, au point de croisement de cette ligne avec celle du Northern-Central, qui, de Baltimore, se dirige sur Canandaigua, station du chemin de fer du New-York Central située entre Syracuse et Rochester.

A Harrisburg aboutit également, par son embranchement du Lebanon-Valley, le chemin de fer de Philadelphia-Reading.

Sur le Northern-Central vient d'autre part s'embrancher à Sunbury le Philadelphia et Erie R.R., qui conduit comme le Pennsylvania Central à Pittsburg, par la ligne dite à faible pente (*Low grade*

division) reliant les deux vallées de la Susquehanna et de l'Allеghany entre les stations de Driftwood et de Redbank, et dont le profil en long a été donné, fig. 1, pl. III. La station de Harrisburg forme ainsi le point de bifurcation de deux lignes à grand trafic, toutes deux aboutissant à Pittsburg et exploitées par la même compagnie, celle du Pennsylvania R.R.

Cette station, très importante au point de vue commercial, ne l'est pas moins au point de vue du service technique. Des remises et des ateliers de réparation pour les machines y sont installés, et un des principaux agents du mouvement y a sa résidence.

Resserrée entre le canal de Pennsylvanie et la ville, qui est, comme on le sait, la capitale de l'État de Pennsylvanie, c'est seulement dans le sens de la longueur que la station a pu se développer. Sa longueur dépasse 2 kilomètres et demi; elle est traversée par trois passages à niveau donnant accès sur les bords du canal.

Le service des voyageurs est concentré à l'une des extrémités de la station, où ont été établis, à une faible distance l'un de l'autre, les bâtiments des voyageurs des deux lignes du Pennsylvania R.R. et du Philadelphia-Reading R.R. Le premier de ces bâtiments seul a quelque importance : il renferme, au rez-de-chaussée, des salles d'attente, des locaux de service et un restaurant. Au premier étage sont les bureaux du chef du mouvement, et dans des bâtiments isolés on a logé les services de la voie et de l'entretien.

Une halle recouvre quatre voies, dont deux sont les voies principales; une cinquième voie est abritée par une marquise.

Les voies qui se trouvent devant le bâtiment des voyageurs du Pennsylvania R.R. sont reliées entre elles et avec celles de la station spéciale du Philadelphia et Reading R.R. par de nombreux changements de voies qui permettent de faire passer facilement, malgré l'absence de plaques tournantes, les locomotives et les voitures d'une voie à une autre, aussi bien à l'intérieur de chaque station qu'entre les deux stations.

Le service des marchandises est installé dans la partie ouest de la station. Les mouvements de composition et de décomposition des trains s'y font sur vingt-quatre voies de garage, ayant de 500 à 700 mètres, et situées de part et d'autre des voies principales, auxquelles elles sont toutes reliées à leurs deux extrémités.

Entre les deux services de voyageurs et de marchandises, mais

plus rapprochés du dernier, se trouvent les rotondes et les ateliers ; les rotondes peuvent recevoir l'une 40, l'autre 42 locomotives. Les ateliers sont outillés pour faire les grosses réparations, et en particulier celles des wagons.

Ces dernières installations sont complétées par une remise pour voitures, par des locaux affectés au service de la glace et du sable, et par des quais pour les charbons et les bois.

A l'extrémité ouest de la station, par laquelle entrent et sortent les trains du Northern Central R. R., est établie la tour des signaux.

Station de Pittsburg. — Nous donnons pl. XXXV, fig. 1, cette importante station, telle qu'elle existait avant sa destruction par les grévistes, en 1877[1].

A Pittsburg, terminus de la ligne du Central Pennsylvania R. R., aboutissent, en outre, les lignes de :

---

1. La Compagnie du chemin de fer du Pennsylvania R. R. ayant décidé de faire circuler, sur ses sections à fortes rampes, des trains avec machines en tête et en queue, afin de pouvoir augmenter le tonnage des trains sans accroître le personnel, cette mesure produisit une grande agitation, et une partie du personnel de la Cie, après s'être mis en grève, résolut de s'opposer par la force à la mise en vigueur du nouveau système d'exploitation.

Le 19 juillet 1877, les trains composés comme il vient d'être indiqué furent arrêtés par les grévistes. Après avoir requis la force armée, un train voulut forcer le passage : ce fut le signal de l'émeute. Les troupes furent attaquées et obligées de se retrancher dans une rotonde où elles eurent à subir un siège. Les émeutiers mirent le feu aux dépôts de wagons et aux magasins de la Cie, ainsi qu'à la rotonde, d'où les troupes furent ainsi délogées.

Une fois maîtres de la place, les incendiaires continuèrent leur œuvre de destruction, et toute la station, y compris les ateliers, le bâtiment des voyageurs, le grand hôtel de la station et l'Élévateur (magasin à blé) situé derrière l'hôtel, devint la proie des flammes. Ce fut seulement le 22 juillet que la milice locale réussit, avec le concours des troupes, à dompter l'insurrection. Indépendamment de tous les bâtiments de la station de Pittsburg, la perte éprouvée par la Cie du Pennsylvania R. R. comprenait 104 locomotives, 46 wagons de voyageurs et 506 wagons de marchandises. Les autres Cies de chemins de fer, dont les réseaux aboutissent à Pittsburg, avaient perdu de leur côté 20 wagons de voyageurs et 861 wagons chargés de marchandises.

Les pertes ont été évaluées à 12 millions et demi de francs pour le Pennsylvania R.R., à un million pour l'Élévateur, à 400000 fr. pour la Cie des Pullman Cars, et à 200000 fr. pour l'Hôtel. Beaucoup de maisons en outre ont été incendiées. On n'estime pas à moins de 18 millions et demi la totalité des dégâts, qui eussent été encore beaucoup plus considérables sans l'attitude énergique des autorités et de la milice locale, dont l'intervention est parvenue à préserver les autres stations de la ligne, tant à Pittsburg que dans la banlieue.

On sait d'ailleurs que la grève de Pittsburg n'a pas été un fait isolé, et que des troubles du même genre se sont produits également sur d'autres lignes, notamment sur le chemin de fer de Philadelphia-Reading, où les grévistes ont détruit, dans la nuit du 22 au 23 juillet 1877, un pont en bois sur le Schuylkill, près de Reading.

Pittsburg, Cincinnati et Saint-Louis.
Pittsburg, Virginia et Charleston.
Pittsburg et Connellsville.
Alleghany Valley.
Fort Wayne et Chicago.

La ville de Pittsburg, qui compte aujourd'hui plus de 200,000 habitants, est le centre de l'industrie métallurgique en Pennsylvanie. Elle fait en outre un commerce considérable de charbon et de pétrole.

La gare de Pittsburg a pris un développement en rapport avec l'importance de la ville et des lignes de chemins de fer qui s'y rencontrent. Sa situation au pied d'un coteau très-escarpé, que longe à une très faible distance une des rues les plus fréquentées de la ville, Liberty street, a toutefois imposé, pour son établissement, des sujétions plus gênantes encore que celles que nous avons signalées à Harrisburg. Placée à un niveau supérieur à celui de la rue contiguë, la plate-forme des voies, resserrée entre cette rue et le coteau, est partiellement assise sur des voûtes utilisées comme magasins pour le service de la voie, et elle atteint ainsi le bâtiment des voyageurs, séparé par une distance de 700 mètres des autres installations de la gare.

Contrairement à ce qui se pratique dans la plupart des gares américaines, constamment ouvertes au public, on a dû, pour prévenir l'encombrement et la confusion résultant de la multiplicité des trains de voyageurs et des directions qu'ils suivent, interdire l'accès des voies au public et n'y admettre que les voyageurs munis de leurs billets. Cette mesure était d'autant plus nécessaire ici, que les trains venant de l'Est, à cause du défaut de largeur qui empêche de multiplier les voies, sont forcés de s'arrêter sur les voies de tête aboutissant au bâtiment des voyageurs, d'où ils sortent par rebroussement. — Les trains à destination de Chicago se forment sur les voies situées au nord du bâtiment, d'où ils passent à niveau à travers les rues de la ville, pour arriver à la gare spéciale du chemin de fer de Pittsburg, Fort-Wayne et Chicago. — Les trains à destination de Cincinnati et Saint-Louis sont composés au sud; ceux qui se dirigent vers l'Est ou vers le Nord partent des voies situées à l'Est, de même que les trains de la banlieue, qui s'étend principalement vers l'Est.

C'est seulement à l'extrémité de la station que les voies princi-

pales donnent accès aux faisceaux de voies affectées au service des marchandises et à celui de la traction. Au nord des voies de garage pour les marchandises sont deux rotondes construites respectivement pour 38 et 44 locomotives, et les ateliers de réparations pour les wagons et pour les locomotives, pourvus chacun d'un chariot roulant.

Des hangars et des magasins sont en outre interposés entre les voies de garage des marchandises et les ateliers. Enfin, le service des marchandises est complété, pour le transport du bétail, par une vaste installation située un kilomètre plus loin vers l'Est, où on peut le parquer et l'embarquer, et pour les grains à destination de la ville, par un *Grain elevator* de très grandes dimensions, et par des magasins établis à l'ouest au delà du bâtiment des voyageurs.

L'installation de la gare de Pittsburg était en définitive un difficile problème. La concentration sur un espace aussi limité, se réduisant sur la plus grande partie de la longueur de la gare à une zone extrêmement étroite, d'un service considérable de voyageurs à destinations multiples et d'un mouvement tout aussi important de marchandises, avec les aménagements nécessaires pour le service de la traction, ne pouvait se faire sans inconvénient pour l'exploitation, et la solution du problème à laquelle se sont arrêtés les ingénieurs américains est loin d'être parfaite : elle montre toutefois comment, sans recourir pour la composition des trains de voyageurs à l'emploi des plaques tournantes, ils sont parvenus à réduire l'importance des manœuvres de gare par le rapprochement des changements de voie et par l'interposition, entre les voies de garage, de tronçons de voies auxiliaires de faible longueur.

On remarquera en même temps quel parti on a tiré des voies obliques coupant toutes les voies de garage du faisceau spécial affecté aux marchandises, pour faire passer les wagons d'une voie sur une autre, sans avoir besoin pour cela ni de leur imposer de longs parcours, ni de dégager les voies de garage sur toute leur longueur. Dans ce cas particulier, les voies obliques conduisent aux rotondes qui se trouvent reliées chacune par deux voies dirigées, l'une vers l'Est, l'autre vers l'Ouest, avec la station.

Station centrale de New-York. — Cette station, dont il a été déjà question plusieurs fois, est le terminus de trois lignes de chemins

de fer : le New-York Central et Hudson River, le New-York et Harlem et le New-York et Newport R.R. Elle est située entre l'avenue Madison et l'avenue Lexington ; sa façade se trouve tournée vers la 42e rue. Elle est donc assez avancée dans l'intérieur de la ville. C'est à cette position qu'elle doit son nom de « *Central Depot* [1] ».

Autrefois le New-York Central R.R. pénétrait encore plus avant dans la ville, mais il a fini par y être trop à l'étroit sans pouvoir trouver le moyen de s'y installer plus grandement. Des acquisitions de terrain, s'élevant à des chiffres considérables, permirent à la Compagnie de reculer sa gare jusqu'à la 42e rue, et c'est dans l'espace compris entre cette rue et la 49e rue que se trouve aujourd'hui la grande station centrale, qui occupe près de 15 hectares de terrain. Il va sans dire que le service des voyageurs seulement se fait dans cet emplacement. Ainsi qu'on le voit (pl. XXXV, fig. 3, 4 et 5), il y a douze voies groupées deux à deux ou trois à trois, entre sept quais qui tous viennent se rattacher à un quai transversal situé derrière le grand vestibule donnant sur la 42e rue. La halle qui recouvre ces douze voies a 63 mètres de largeur sur environ 200 de longueur. Le grand bâtiment qui embrasse deux côtés de la halle renferme non seulement les salles d'attente et les salles de bagages, mais aussi, dans les étages supérieurs, tous les bureaux des chemins de fer qui y aboutissent.

Les voies qui se détachent sur la droite sont spécialement affectées au service des voitures ; c'est là que se trouvent les remises et les ateliers de nettoyage des voitures. Les remises pour locomotives, ainsi que quelques petits ateliers de réparation, sont installées à gauche.

Les rues transversales débouchant vers le principal corps de bâtiment, c'est-à-dire la 43e et la 44e rue, sont interceptées par les voies, tandis que, pour les autres rues, des ponts par-dessus ont été établis. Les ponts de la 45e et de la 48e rue donnent passage aux voitures et aux piétons, tandis que les ponts de la 46e, de la 47e et de la 49e rue, ne sont que de simples passerelles pour piétons.

Pour faciliter la formation des trains, cette station est munie d'un chariot roulant, qui longe la remise des voitures établie entre la 45e rue et conduit sur les voies de départ.

---

1. C'est par le nom de « Depot » que l'on désigne généralement les gares aux États-Unis.

Il y a plus de 50 changements et croisements de voie devant la halle des voyageurs. Tous sont reliés entre eux et manœuvrés par un seul appareil installé sur le pont qui traverse les 12 voies à la tête nord de la halle.

Le nombre de trains qui quittent cette station a été, dès le début, de plus de 50 par jour; depuis lors, c'est-à-dire depuis 1873, ce nombre n'a fait qu'augmenter. Le service ne s'y fait qu'entre 4 heures du matin et minuit.

Cette station, sur laquelle nous reviendrons en parlant des bâtiments, a été construite de 1871 à 1873.

Gare de West-Philadelphia. — La grande gare de la Compagnie du Pennsylvania R.R. à West-Philadelphia a été établie en 1876[1] pour remplacer les constructions en bois, devenues insuffisantes, où s'était fait jusqu'alors le service. La nouvelle gare comprend 12 voies, dont trois de chaque côté sont couvertes sur environ 275 mètres de longueur et servent : celles de gauche pour l'arrivée, celles de droite pour le départ. Les six voies centrales, non couvertes, sont employées comme voies de garage. Neuf quais se trouvent compris entre ces voies et se rattachent à un quai couvert de 14 mètres de largeur, qui s'étend derrière le bâtiment principal sur toute la largeur de la gare. Ce bâtiment est muni d'une marquise sur le devant et du côté de l'arrivée. Le service des bagages se fait dans deux corps de bâtiment isolés situés à peu de distance du bâtiment des voyageurs. Les voies ne sont reliées à leur tête ni par des plaques tournantes, ni par des chariots roulants. Les trains entrent poussés par des locomotives spéciales (*pushers*) remplaçant celles qui, après avoir amené les trains, vont se garer dès qu'elles atteignent l'entrée de la station, ou bien ils continuent leur marche en vertu de la vitesse acquise après que la locomotive s'est détachée et garée. On les arrête au moyen des freins. En pareil cas, la manœuvre du changement de voie par lequel passe la locomotive pour quitter la voie que poursuivra le train, exige de la part de l'aiguilleur une extrême dextérité. Souvent aussi la locomotive reste en tête du train et le refoule après la descente des voyageurs.

Le plan d'ensemble que nous donnons planche XXXVI, fig. 1,

1. Cette gare a été construite, ainsi que celle de Jersey City et un grand nombre d'autres gares du Pennsylvania R. R., par M. J. M. Wilson, dont nous avons eu déjà l'occasion de citer plusieurs fois le nom en parlant des ponts de cette ligne.

donne, en même temps que la disposition des voies de la gare de West-Philadelphia, celle des voies qui, en 1876, reliaient cette gare à la station spéciale établie en face des bâtiments de l'Exposition Universelle.

Cette dernière station se trouvait placée sur la ligne de Philadelphie à Pittsburg, qu'un embranchement direct, dirigé sur New-York, venait rejoindre à peu près à mi-distance entre les deux stations. On avait ainsi le moyen de transporter directement à la station de l'Exposition les voyageurs et les marchandises venant de New-York, sans les faire passer par la gare de West-Philadelphia, ce qui eût nécessité le rebroussement des trains.

Un faisceau de voies placé entre l'embranchement spécial de New-York et la station de West-Philadelphia servait au garage des trains de marchandises venant de New-York ; sur un autre faisceau de voies établi entre les deux raccordements de la ligne de New-York se garaient les trains de marchandises dirigés de Pittsburg sur cette ville.

Comme les trains de voyageurs se succédaient en général de 15 en 15 minutes, souvent même à des intervalles moindres, il eût fallu, pour que les locomotives pussent faire leurs manœuvres de gare sans compromettre la régularité du service, établir des voies de garage très étendues et des plaques tournantes multipliées.

On a pris le parti très judicieux d'établir devant la gare de l'Exposition une boucle complète, permettant aux trains de voyageurs de poursuivre leur route sans être quittés par les machines, et de revenir ainsi à leur point de départ. Trois voies ont, grâce à cette disposition, suffi pour un mouvement considérable de voyageurs, sans jamais entraîner le moindre encombrement des voies, là où toute autre disposition aurait nécessité un nombre bien plus grand de voies, sans simplifier au même degré tout le service.

Il est vrai que ce n'était pas chose facile de se reconnaître parmi les trains stationnant sur les trois voies courbes, ces trains pouvant, quelle que fût leur position, prendre une direction quelconque sans avoir à rebrousser chemin, et le public américain, tout habitué qu'il est à se tirer d'affaire sans avoir besoin d'être guidé, lorsqu'il se trouve en présence d'un chemin de fer, était exposé à se tromper. Les nombreux étrangers venus pour visiter l'Exposition l'étaient encore davantage. Aussi a-t-on dû organiser dans la station de l'Exposition, où il n'y avait qu'une seule salle d'attente

avec un compartiment spécial pour les dames, un service qui se rapprochait de celui des stations européennes.

Les portes donnant accès sur le quai étaient gardées et ne s'ouvraient que quelques minutes avant le départ de chaque train. Chaque porte de sortie portait une inscription indiquant la destination vers laquelle elle donnait issue : la présentation des billets et l'appel des employés complétaient ces mesures de précaution.

L'indépendance des voies principales de la ligne de Phidalelphie à Pittsburg avait été assurée par l'établissement de voies spéciales entre la gare de West-Philadelphia et celle de l'Exposition. De nombreux croisements et changements de voie facilitaient d'ailleurs le passage d'une voie à l'autre.

Des systèmes de signaux à fermeture réciproque (*interlocking signals*), manœuvrés en même temps que les changements de voie par un seul opérateur, étaient établis en divers points de cet ensemble de voies, qui prolongeaient en quelque sorte sur une longueur de près de 4 kilomètres la station de West-Philadelphia.

Une première tour de signaux se trouvait derrière la plaque tournante placée à la sortie de la halle à voyageurs de West-Philadelphia, une seconde à l'entrée Est de l'embranchement de New-York, une troisième à l'entrée Ouest de cet embranchement, une quatrième enfin à l'entrée Est de la courbe correspondant à la station de l'Exposition.

Indépendamment des changements de voie commandés par ces systèmes de signaux, divers changements de voie intermédiaires étaient surveillés et desservis par des aiguilleurs spéciaux, placés dans des guérites échelonnées le long des voies.

Gare de Jersey-City.— La grande gare de Jersey-City[1] (pl. XXXVII, fig. 2), bien qu'elle forme tête de ligne comme celle de Philadelphie, pour ce qui concerne le transport par rails, n'est qu'une station de passage au point de vue de la destination de la majeure partie des voyageurs qui sont transportés à New-York par de grands bacs à vapeur (*ferry boats*).

Quatre cales avec plans inclinés, servant de quais d'embarquement et de déchargement pour les bateaux, sont installés devant la station. Un quai de plus de 18 mètres de largeur se trouve compris dans l'enceinte embrassant le bâtiment des voyageurs et la salle

1. *Engineering* du 9 mars 1878.

d'attente du service des bacs à vapeur. Les voyageurs qui quittent New-York font enregistrer leurs bagages sur la rive gauche de l'Hudson, avant de prendre les bateaux, de même que ceux qui s'y rendent reçoivent leurs bagages délivrés à quai à New-York; eux-mêmes ne quittent pas l'enceinte du chemin de fer, car, en arrivant sur le quai de Jersey-City, ils n'ont qu'à le traverser à couvert, pour arriver par la salle d'attente aux quais de départ des bacs.

Les douze voies de la station sont toutes à couvert sur 189 mètres de long; quatre voies servent à l'arrivée, quatre au départ, et quatre pour le garage des wagons. Le quai transversal derrière le bâtiment a 12^{m},20 de large, et donne accès aux six quais qui desservent les six voies, groupées deux à deux. Un corps de bâtiment spécialement affecté aux bureaux renferme un petit magasin qui suffit pour les bagages de Jersey-City.

Gare centrale de Kansas-City.— La gare centrale de Kansas-City [1] (principale ville de l'État de ce nom, située sur le Missouri, et dont la population en 1876 était de 32 000 habitants), récemment construite par le major O. B. Gunn (pl. XXXVIII, fig. 3), diffère essentiellement des gares que nous venons de décrire en ce qu'elle n'est pas une gare de tête. Elle est traversée par six voies, dont cinq seulement sont à couvert. Le bâtiment de la gare se trouve du côté du boulevard « Union Avenue », et le passage de ce côté de la voie vers le côté opposé, ainsi que vers les plates-formes couvertes qui séparent les voies, se fait en traversant celles-ci à niveau.

Pour faciliter ce passage, on n'a pas établi de quais en contre-haut des voies. Les entre-voies, aussi bien que les plates-formes, se trouvent au même niveau, et sont planchéiées sur environ 300 mètres de long et sur toute la largeur de la station. Les plates-formes intercalées entre les trois groupes de doubles voies sont recouvertes par des toitures supportées par une seule rangée de colonnes, et faisant encorbellement de 2^{m},50 vers chaque voie. La plate-forme qui longe le bâtiment est abritée sur 6^{m},70. Deux passages transversaux, couverts sur 15^{m},25 de largeur, dont l'un se trouve dans l'axe du bâtiment, l'autre à son extrémité du côté de la salle d'attente, raccordent entre elles les plates-formes couvertes.

1. *Railroad Gazette* du 21 juin 1878.

Les ingénieurs qui ont adopté cette disposition de gare font valoir l'avantage de l'établissement moins coûteux de ces marquises isolées, comparé à celui de grandes halles couvrant à la fois les quais et les voies; ils prétendent, en outre, que l'éclairage et l'aération sont meilleurs, et qu'on est moins incommodé par la fumée et par le bruit des locomotives.

Station centrale de Saint-Louis. — La ville de Saint-Louis, qui compte aujourd'hui environ 500 000 habitants, peut être considérée comme la capitale des États situés dans la vallée du Mississipi : elle joue pour les relations commerciales entre l'Est, le Sud et le Pacifique, le même rôle que Chicago pour celles que les États du Nord-Ouest entretiennent avec les États de l'Est.

Située sur la rive droite du Mississipi, à 20 kilomètres en aval de son confluent avec le Missouri, cette ville était déjà, avant la construction du pont qui y relie maintenant les deux rives du Mississipi, le terminus de cinq lignes venant de l'Est, et de deux lignes venant du Sud, qui s'arrêtaient sur la rive gauche à East-Saint-Louis. Un double service de bacs à vapeur et de camionnage mettait en communication ces lignes avec Saint-Louis et avec quatre autres lignes importantes établies sur la rive droite du fleuve.

Le besoin de communications mieux assurées provoqua à la fois la construction du grand pont que nous avons déjà eu occasion de décrire, et l'établissement d'une station centrale (pl. XXXIX, fig. 1) servant de point de jonction à toutes les lignes. Cette double construction, à laquelle devait s'ajouter l'exécution à travers la ville d'une longueur d'environ 1500 mètres de voies en grande partie souterraines, devant entraîner des dépenses considérables, bien supérieures aux ressources dont pouvait disposer la plus importante des compagnies intéressées au raccordement, il se forma d'abord, pour l'entreprise du pont et du chemin de fer souterrain, une compagnie spéciale, patronnée par les diverses compagnies; cette nouvelle compagnie fonda ensuite des sociétés particulières pour la construction de la station centrale et pour l'exploitation du chemin de fer de raccordement et de la station commune.

L'établissement de la station centrale de Saint-Louis n'a pas amené l'abandon des stations disséminées à East-Saint-Louis et à Saint-Louis; elle a eu surtout pour objet de concentrer le service des voyageurs; celui des marchandises, par suite de l'établissement de la double voie ferrée qui traverse le Mississipi, peut utiliser toutes

les gares spéciales situées sur les deux rives. La station centrale de Saint-Louis est toutefois pourvue également de magasins spacieux situés à proximité du bâtiment des voyageurs.

Ceux-ci, en arrivant dans la station centrale, sont presque tous forcés de changer de train. Il n'y a, en général, que ceux qui occupent des voitures de luxe, qui peuvent continuer leur voyage dans les mêmes voitures, que l'on intercale dans d'autres trains.

Les trains arrivent sur les trois voies situées devant le bâtiment placé au nord de la voie principale. Pour la composition des trains allant vers l'Est, on se sert des voies de garage précédant ce bâtiment, dont sept se trouvent comprises entre les voies principales, et une autre est située au sud de ces voies. Les trains allant vers l'Ouest sont composés sur les voies de garage situées de part et d'autre de la 14ᵉ rue, qui franchit la station en ce point au moyen d'un pont.

Le dépôt des locomotives est placé à l'extrémité ouest de la station. En cet endroit, des voies s'embranchent vers le Nord, pour desservir des chantiers de bois de construction, des dépôts de charbon et des magasins.

Afin de créer moins d'obstacles à la circulation dans les rues, on a établi des ponts par-dessus les nombreuses voies qui traversent la 12ᵉ et la 14ᵉ rue. Les autres franchissent à niveau les voies de la station, ce qui a donné lieu à des règlements imposant un maximum de vitesse à la marche des trains dans l'intérieur de la ville.

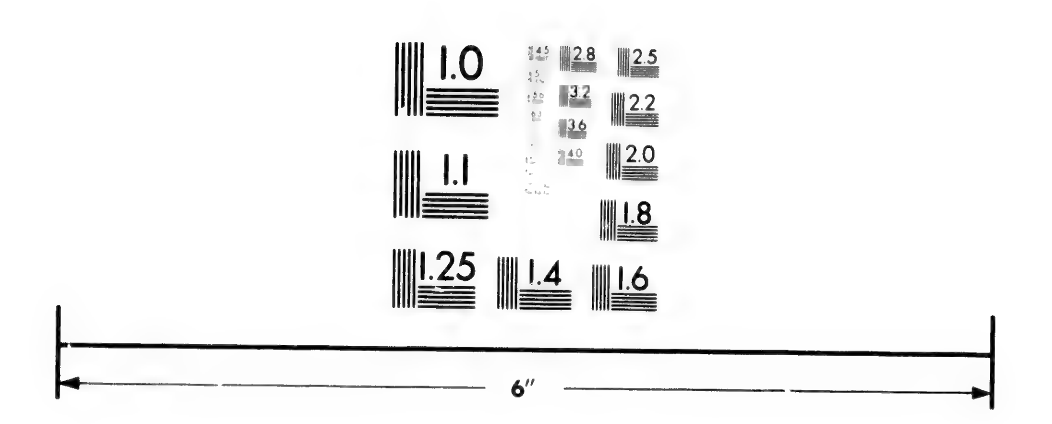
Gares à charbon du chemin de fer de Philadelphia-Reading. — Le transport de masses considérables de charbon donne toujours lieu dans les gares à des dispositions spéciales, ayant pour objet de réduire le plus possible la durée et la dépense d'opérations qui se renouvellent constamment. Nous donnons, pl. XXXVII, fig. 1, et pl. XXXVIII, fig. 1 et 2, les plans de trois gares à charbon du chemin de fer de Philadelphia-Reading, qui tient un rang éminent parmi les compagnies de chemin de fer, tant pour l'importance de ses transports de charbon[1] que pour la bonne organisation de ce service.

---

1. Quelques chiffres tirés du rapport de la Philadelphia-Reading Cᵒ, pour l'exercice 1876-1877, donnent une idée de l'importance des transports de charbon sur ce chemin de fer.

Depuis vingt ans les transports de charbon ont plus que quadruplé : ils s'élevaient, en 1857, à 1 737 047 tonnes; ils se sont élevés, en 1867, à 3 501 975 tonnes, et, en 1877, à 7 371 402 tonnes.

IMAGE EVALUATION TEST TARGET (MT-3)



2.8
2.5
3.2
2.2
3.6
4.0
2.0
1.8
1.0

Il y a lieu de distinguer : 1° les gares de réception, recevant les wagons amenés par les petits embranchements aboutissant aux mines de charbon ; 2° les gares de triage, dans lesquelles les trains sont composés d'après leurs différentes destinations et suivant la qualité des charbons ; 3° les gares terminales où se fait la livraison des charbons.

L'ensemble des installations s'étendant de *Port-Carbon* à *Saint-Clair*, situées près de Pottsville, au centre d'un des districts houillers les plus importants de la Pennsylvanie, offrent un spécimen remarquable de gare de réception. Les dispositions de cette gare sont reproduites pl. XXXVIII, fig. 2.

Les deux voies principales sont d'abord longées, sur environ 550 mètres, par une voie affectée à la composition des trains vides remontant vers les mines, et par deux voies recevant les wagons chargés. De chaque côté de ces voies se trouve un faisceau de voies parallèles, portant à trois le nombre des voies pour le garage et la composition des trains qui remontent à vide, et à sept le nombre de voies pour le service de la descente, c'est-à-dire de l'expédition du charbon. Toutes ces voies sont coupées, à mi-chemin environ, par des voies transversales, venant déboucher vers les voies principales, ce qui facilite considérablement le garage et le départ des trains en diminuant les parcours à faire pour entrer dans les voies de garage ou pour en sortir.

Les deux lignes qui descendent des mines de « Jones » et de « Cok Hollow » débouchent dans la station, et elles y sont reliées entre elles par une voie spéciale placée du côté de la voie montante. On a dû prolonger cette voie pour la mettre en communication avec la voie de descente par un changement placé en amont du point de ramification.

Dans le courant de l'année 1877, il est passé par cette gare 1 876 550 tonnes de charbon. En une seule journée, on a pu expédier jusqu'à 2495 wagons à quatre roues[1], chargés de cette marchandise. Pour faciliter les manœuvres de gare, les voies sont établies en pente d'environ 5 millimètres par mètre.

La pl. XXXVIII, fig. 1, donne le plan de la station de *Palo Alto*,

1. Le transport de charbon se fait généralement par des wagons à quatre roues. Les wagons à huit roues, faisant le même service, sont comptés pour deux wagons à quatre roues dans les statistiques.

qui est une gare importante de triage et de classification. Indépendamment des charbons qui y arrivent par les embranchements de Mahonoy et Shamokin, et de Mill Creek, partant d'autant d'exploitations distinctes, cette gare reçoit aussi une partie des produits du gisement dit : « South Coalfield », par l'embranchement de Schuylkill-Valley.

Dans l'exercice qui s'est terminé le 30 novembre 1877, 1915350 tonnes de charbon avaient passé par Palo Alto, et le service d'un seul jour s'élevait à 2575 wagons chargés.

Cette station est aussi établie en pente douce pour faciliter la composition des trains.

Le pesage des wagons se fait, ainsi que nous le verrons plus loin avec plus de détail, sans que les wagons, descendant avec une faible vitesse sur la pente, aient besoin d'être arrêtés.

Les plateaux des ponts-bascules établis à Mill Creek et à Palo Alto ont 36^{m},60 de longueur : on pourrait y faire tenir simultanément dix petits wagons à quatre roues, tels que ceux qu'on emploie pour le transport des charbons. Pour pouvoir faire la pesée sans arrêter les wagons, on n'en introduit sur la bascule que deux ou trois à la fois. La durée de leur passage suffit pour la pesée.

Au delà du pont-bascule, les voies se ramifient, et un aiguilleur fait passer les wagons, suivant l'indication qui lui est donnée par des traits faits à la craie à l'avant de chaque wagon, sur les différentes voies, pour y composer des trains complets pour chaque destination.

La station de Palo Alto renferme une rotonde demi-circulaire pour 21 locomotives, et, outre la plaque tournante qui s'y trouve annexée, il y en a une seconde du côté de la voie descendante, pour que les locomotives puissent être retournées sans qu'on ait besoin de les faire entrer au dépôt situé du côté de la voie montante.

Des ateliers de réparation de locomotives et de wagons, ainsi que des hangars pour wagons, et un quai pour le dépôt du charbon livré dans la station même, établis comme le montre le plan, complètent cette gare à charbon.

La ligne principale du Philadelphia-Reading R.R. débouche à Philadelphie, sur la rivière de Delaware. La station de tête pour le charbon est établie en aval de la ville à *Port-Richmond* (pl. XXXVII, fig. 1). C'est là que se fait le transbordement direct des wagons en bateaux.

Le chemin de fer, après avoir traversé les quais de Philadelphie, en laissant sous les ponts une hauteur libre de 4^{m},00, aboutit à un faisceau de voies qui se prolongent horizontalement sur 22 appontements. Ces appontements ont des largeurs de 3^{m},66 ou de 6^{m},10, suivant qu'ils sont établis pour une ou pour deux voies. On leur a donné tout d'abord une hauteur de 2^{m},75, portée à 4^{m},57 dans les plus nouveaux, qui sont revenus à 112 fr. 50 par mètre courant de voie, soit 16 francs seulement de plus que les anciens. Les glissières ou trémies, établies pour verser le charbon directement des wagons dans les bateaux, permettent, lorsque l'approche des wagons chargés et l'éloignement des wagons vides peuvent se faire librement, de décharger de 1650 à 1700 tonnes de charbon par journée de 8 heures, soit environ 200 tonnes par heure.

Pour se dispenser de déplacer les bateaux en chargement, on se sert généralement de trois trémies pour le chargement de chaque bateau.

Les quatre voies principales qui conduisent à Port-Richmond se ramifient après avoir traversé à niveau les deux voies du chemin de fer de Philadelphia-Trenton. C'est entre cette traversée et la rue de Richmond qui longe le quai, soit sur une longueur d'environ 1050 mètres, que se trouve la gare à charbon, d'où sort un faisceau de dix voies aboutissant à 73 voies terminales; 60 de ces voies desservent les 21 appontements à charbon; les 13 autres voies longent les quais servant à opérer le chargement des autres marchandises.

La gare de Richmond présente de son côté, en dehors des quatre voies principales, 13 voies de garage. Deux rotondes semi-circulaires peuvent recevoir 45 locomotives. Il y a des ateliers de réparation et un bureau spécial installé pour le service du mouvement, qui, au moyen du télégraphe, règle l'arrivée des trains.

Sur chaque appontement se trouve, dans une guérite, un surveillant préposé au chargement en même temps qu'au pesage, qui se fait au moyen de 40 bascules placées à l'entrée des estacades.

Les trois gares que nous venons de décrire sont presque exclusivement affectées au service du charbon, et le seul mouvement de marchandises qui s'y fasse en sens opposé a pour objet le transport de certaines matières de consommation destinées aux districts miniers. On peut donc dire que la presque totalité des trains remontent à vide vers les mines.

La gare de Port Richmond a eu en 1877 un mouvement de

2 870 300 tonnes de charbon : on a transbordé en bateaux jusqu'à 4000 wagons en une seule journée.

Gare maritime de Boston. — Nous donnons, planche XXXIX, fig. 3, le plan des voies et bâtiments établis par la Compagnie du chemin de fer de Boston à Albany à East-Boston pour le service des marchandises chargées ou déchargées sur le port. La zone de terrain occupée ainsi par la Compagnie dans le port de Boston a une longueur de 425 mètres.

Sept appontements (*piers*) ont été établis pour accroître le développement des quais : ils ont une largeur de 20 à 30 mètres et une longueur variant de 50 à 100 mètres.

Le tirant d'eau dans les bassins que séparent les appontements est, à marée basse, de 6 mètres pour les bassins n°s 1, 2, 3 et 6 ; il descend jusqu'à 3 mètres pour les autres.

La voie ferrée aboutit à cette gare maritime, après avoir traversé à niveau les rues d'East Boston. Sur un faisceau de cinq voies parallèles au quai viennent s'embrancher : au Nord, des voies conduisant à une remise et à des ateliers de réparation ; au Sud, les voies desservant les quais et les appontements. Certaines voies longent les bords des appontements ; d'autres en occupent la partie centrale. Les premières servent pour les marchandises qui doivent passer directement des wagons dans les navires ou réciproquement ; les autres pour celles qui ont à séjourner en magasin avant d'être réexpédiées.

C'est ainsi que sur l'appontement n° 3, spécialement affecté au coton, les deux voies sont placées sur les bords, tandis que l'appontement n° 5, portant un grand magasin à blé (*Grain elevator*), d'une capacité de plus de 300 000 hectolitres, est traversé en son milieu par deux voies. Pour faciliter le triage des wagons qui desservent cet élévateur, on a installé des voies de garage multipliées sur lesquelles se fait la composition des trains chargés de blé.

L'appontement n° 4, qui n'est pas couvert, sert au dépôt des bois de charpente, et, en cas d'insuffisance de l'appontement n° 7, au service des charbons. Ce dernier appontement, également découvert, est pourvu de monte-charges pour le déchargement des navires qui apportent du charbon. Les quatre voies établies sur cet appontement sont directement reliées aux principales voies de garage : elles sont en outre prolongées en ligne droite par deux voies servant de garage spécial pour les wagons à charbon.

Indépendamment des hangars et des magasins établis sur les appontements, il y a, ainsi que l'indique le plan, un grand nombre de magasins rangés le long des voies.

A Boston, plus qu'ailleurs, on s'est préoccupé de garantir ces diverses installations contre l'incendie. Boston est, en effet, après Chicago, la ville des États-Unis qui a eu le plus à en souffrir[1]. La plus grande partie des magasins et hangars est construite en maçonnerie de briques ou en granit, et couverte en matières incombustibles.

On rencontre des dispositions analogues à celles de la gare maritime de Boston dans la plupart des grands ports, notamment à Philadelphie, Baltimore, San Francisco, pour le transbordement des marchandises entre les wagons et les navires. C'est généralement au moyen d'appontements en charpente, perpendiculaires à la rive et portant des voies qui se raccordent, par des courbes de court rayon, avec deux ou trois voies principales longeant la rive, que se font les opérations de transbordement. Ces opérations, pour lesquelles il est rare qu'on se serve de grues, sont facilitées, le plus souvent, ainsi que nous l'avons vu dans les gares de chemins de fer proprement dites, par l'exhaussement des quais sur lesquels se fait le dépôt des marchandises à transborder, et par l'emploi de monte-charges spéciaux pour certaines marchandises. Dans les grands ports du Sud, comme à la Nouvelle-Orléans et à Mobile, où la population noire fournit les portefaix à bas prix, les chargements et déchargements, s'appliquant principalement aux cotons, ont continué à se faire à bras d'hommes.

BATIMENTS DES GARES ET STATIONS.

Service des voyageurs.

Les voitures pour voyageurs ne comportant en principe qu'une seule catégorie de wagons, on pourrait croire que le problème de la distribution intérieure des bâtiments des gares et stations en Amérique se pose autrement qu'en Europe, parce qu'il n'y a

---

1. L'incendie qui a éclaté le 9 novembre 1872 a détruit plus de neuf cents maisons ou magasins situés dans la partie la plus commerçante de Boston ; les pertes ont été évaluées à plus de 400 millions de francs.

pas à se préoccuper d'aménagements spéciaux pour les voyageurs des différentes classes.

Tous les voyageurs, tant ceux qui se contentent des voitures ordinaires de la Compagnie que ceux qui usent des voitures de luxe, généralement fournies par une entreprise spéciale, se réunissent en effet dans une même salle d'attente. Une pièce de moindre dimension est toutefois ajoutée, pour peu que la station ait un mouvement de voyageurs de quelque importance, à la salle d'attente commune; elle est destinée spécialement aux dames.

Dans les Etats du Sud, où la population noire est nombreuse et où l'intolérance vis-à-vis de cette race a survécu à l'esclavage, on ajoute en outre une salle d'attente spéciale pour les nègres (*colored people*). Pour concilier toutefois l'intolérance à l'égard des nègres avec le respect professé en Amérique pour le sexe féminin, les compagnies des chemins de fer du Sud ont annexé, dans quelques grandes stations, comme, par exemple, à Louisville, aux salles d'attente pour les nègres, des pièces réservées pour les négresses.

Les trois salles d'attente des chemins de fer européens sont donc, en définitive, remplacées, soit par deux, soit même par quatre pièces, bien qu'en principe la séparation en classes n'ait pu se généraliser par suite des lois qui exigent que le principe de l'egalité soit maintenu, sinon en réalité, du moins en apparence.

Afin de permettre aux dames de rester isolées des voyageurs jusqu'au moment où elles montent en voiture, les bureaux de distribution de billets ont en général un guichet spécial ouvert sur la salle d'attente des dames.

De plus, des toilettes bien plus spacieuses que celles que l'on trouve généralement dans nos stations sont mises à leur disposition.

Quant aux bureaux, ils sont généralement très restreints, et cela non seulement en raison du moindre nombre des employés, mais encore à cause de la moindre importance du service des gares. La vente des billets de chemin de fer et l'enregistrement des bagages peuvent se faire dans toutes les villes en dehors de la station, soit dans les hôtels, soit dans des bureaux spéciaux établis dans divers quartiers des villes; le service dans les stations se trouve de ce fait bien réduit.

La manière expéditive dont on procède à l'enregistrement des bagages contribue également à permettre la réduction des espaces consacrés à cette branche du service.

Les faits et les habitudes dont nous avons constaté, au commencement de ce chapitre, l'influence sur la disposition générale des stations, notamment la libre circulation à travers les voies, et la faculté qu'a chaque voyageur de passer dans une voiture quelconque du train, après être monté dans une d'elles, expliquent en particulier les dispositions données aux bâtiments des gares et à leurs abords.

C'est ce que nous ferons mieux comprendre en complétant les descriptions de stations que nous avons faites plus haut par quelques détails sur les bâtiments de ces mêmes stations et de quelques autres.

Bâtiment de la station de Rowlett. — Le bâtiment de la petite station de Rowlett ne contient qu'une seule salle d'attente, sans compartiment pour les dames. Cette salle a moins de 40^{m2} de superficie; elle est contiguë au bureau de distribution, qui n'en a environ que 28^{m2}. Le local affecté aux marchandises fait corps avec ces deux pièces; le quai des marchandises ayant $2^{m},44$ de largeur se trouve à $1^{m},68$ de l'axe de la voie, et l'on n'a pas hésité à réduire à $1^{m},22$ la largeur du quai des voyageurs (fig. 2, 3 et 4, pl. XXXIV).

Cette station est desservie par un seul agent. Il n'est pas logé dans le bâtiment, à moins qu'il ne s'installe dans l'unique pièce constituant le bureau. Tout le bâtiment est en charpente de *yellow pine*. Il a coûté, y compris le magasin et les quais, 5500 fr.

Bâtiment de la station de Columbia. — La station de Columbia, située également sur le chemin de fer de Louisville et Nashville, à la tête de l'embranchement de la ligne de Nashville et Decatur, quoique plus importante que celle de Rowlett, est également construite entièrement en charpente. La halle des marchandises ne se trouve plus annexée au bâtiment des voyageurs; par contre, on y a accolé d'une part un buffet, d'autre part un bureau pour le service de la voie (pl. XXXIV, fig. 6, 7 et 8).

Les salles d'attente sont au nombre de trois : une salle pour hommes, une salle pour dames, et une troisième salle pour les gens de couleur, qui a environ 28^{m2} de superficie. Tandis que des guichets s'ouvrent sur les deux premières salles, les nègres doivent se rendre à l'un des guichets donnant sur les quais.

Ce bâtiment occupe une surface de 195^{m2}; il est bordé d'un quai élevé de deux marches au-dessus du sol, qui présente environ 271^{m2} de superficie; il a coûté 9500 fr.

Nous retrouvons, sauf le restaurant et le bureau du service de la voie, des dispositions analogues à celles du bâtiment de Columbia dans le bâtiment d'une autre petite station de ce même chemin de fer, dont le plan se trouve fig. 5, pl. XXXIV. — Dans ce bâtiment, chacune des trois salles d'attente a son guichet pour le service des billets. Tandis que les salles d'attente des hommes et des dames donnent sur le quai qui longe la voie, celle des nègres donne sur un quai établi sur l'arrière du bâtiment. — Par exception, ce bâtiment renferme une pièce destinée aux bagages.

Petite station de la ligne Philadelphia-Reading. — Comme spécimen de bonne distribution, nous donnons (pl. XXXV, fig. 9) le plan d'un bâtiment d'une petite station du chemin de fer de Philadelphia-Reading, construite d'après les plans de l'ingénieur en chef M. W. Lorenz.

Bâtiments des stations de Newark et de Principio. — Sur le chemin de fer de Philadelphia-Wilmington et Baltimore, les petites stations renferment généralement dans le bâtiment des voyageurs l'appartement de l'employé. M. S. Fuller, ingénieur en chef de ce chemin de fer, donne des dispositions assez variées aux bâtiments.

La station de *Newark* (pl. XXXV, fig. 7 et 8), petite ville d'environ 3000 habitants, à 62 kilomètres de Philadelphie et à 19 kilomètres de Wilmington, n'a qu'un faible mouvement de marchandises, mais elle fait un service assez important de voyageurs de banlieue.

Principio, station située à 91 kilomètres de Philadelphie, est moins considérable : aussi n'y a-t-il qu'une seule salle, et toute la construction est en bois, tandis que le bâtiment de Newark est en pierre. Ainsi que le montre le plan de ce bâtiment (pl. XXXVII, fig. 2 et 3), c'est pour ainsi dire une maison d'habitation de l'employé, dont une pièce sert de salle d'attente.

Dans toutes ces petites stations, il n'y a point de local spécial pour les bagages, ou bien l'espace destiné à ce service est très-restreint et souvent presque inaccessible au public. C'est ce qui a lieu dans la petite station du chemin de fer de Philadelphia et Reading, dont nous avons donné le plan (pl. XXXV, fig. 9). Le public n'a pas, en effet, à pénétrer dans le bureau des bagages, parce que ce bureau ne sert qu'à garder les colis qui n'auraient pas été retirés par les voyageurs, tandis que les bagages que les voyageurs expédient par le train qu'ils prennent, ou qu'ils retirent dès leur

arrivée, ne passent par aucun bureau. C'est sur le quai même qu'on y appose la marque indiquant leur destination et qu'on les délivre.

Dans les stations où un local spécial manque, c'est dans les halles des marchandises qu'on dépose les bagages en gare.

Le service des messageries est fait par des entreprises spéciales, dites *Express Companies*, qui ont dans chaque station de quelque importance leurs locaux spéciaux.

Depuis que l'on a commencé à créer de grandes stations centrales, on a remplacé, dans la plupart des grandes villes, les constructions en bois, qui servaient de bâtiments de voyageurs, par des constructions permanentes, souvent assez coûteuses, renfermant généralement, en dehors des salles d'attente, des bureaux de distribution de billets, des bureaux de bagages, des restaurants et un certain nombre de bureaux particulièrement affectés au service du mouvement.

Bâtiment de la gare de Kansas-City. — Nous retrouvons tous ces locaux dans le bâtiment de la station de Kansas-City (pl. XXXVIII, fig. 3) et dans celui de Philadelphie (pl. XXXVI, fig. 2 et 3).

Quoique le nombre des hommes qui voyagent soit bien supérieur à celui des dames, la salle d'attente pour dames est plus grande à Kansas-City que celle pour hommes. L'exiguïté relative de cette dernière pièce est compensée par l'espace attribué dans cette station au restaurant, qui peut suppléer au besoin à l'insuffisance de la première salle.

Bâtiments des gares de Jersey-City et de West-Philadelphia. — Dans les stations de Jersey-City (pl. XXXVII, fig. 4) et de West-Philadelphia (pl. XXXVI, fig. 2 et 3), la salle commune forme la pièce centrale, la plus importante du bâtiment. Dans cette dernière station, l'importance de la salle commune est marquée, non-seulement par les dimensions horizontales (24^{m},5 sur 30^{m},5), mais aussi par la hauteur.

Des bancs sont placés au milieu de cette salle, perpendiculairement à la façade, de façon à former des couloirs se dirigeant de la porte d'entrée vers celle de sortie. Dans les angles, on a établi des bureaux pour la vente des journaux, des livres et des billets pour les voitures spéciales, et des bureaux de télégraphe.

Le service des bagages est installé, ainsi qu'il a déjà été dit, dans des bâtiments isolés, à droite et à gauche du quai transversal contre lequel viennent s'arrêter les voies. Pour le service du dépôt

en gare des petits colis que les voyageurs emportent en wagon, il y a en outre un bureau logé dans un pavillon spécial situé entre l'arrivée et le départ.

Beaucoup de personnes qui ne viennent passer qu'une journée dans une ville et qui emploient la nuit à voyager profitent de la facilité qui leur est ainsi offerte à peu de frais[1] de faire garder leurs sacs de voyage.

Bâtiment de la gare centrale de New-York. — Un des plus grands bâtiments de gare est celui de New-York, dans lequel on a réuni le service des chemins de fer de New-York Central and Hudson River, de Harlem and New-York, et de New-Haven (pl. XXXV, fig. 4 et 5).

Chacun de ces trois chemins de fer a ses salles d'attente et ses bureaux spéciaux. Les bureaux se trouvent dans les étages supérieurs, et l'espace qui leur est assigné est, comme celui des salles d'attente, en rapport avec l'importance du service de chacune des Compagnies. Le chemin de fer de New-Haven, dont le service est surtout un service de voyageurs et plus particulièrement de voyageurs de banlieue, se trouve dans la façade Sud tournée vers la 42[e] rue. Le chemin de fer de Harlem et New-York occupe l'angle Sud-Ouest et une partie de l'aile Ouest, tandis que le chemin de fer de New-York Central et Hudson River occupe le reste de l'aile Ouest.

Le nombre des bureaux que contient ce bâtiment dépasse le chiffre de cent. La salle des conférences attenant au cabinet du Président de toutes les compagnies réunies est installée, ainsi que les bureaux du Président, avec un luxe que l'on rencontre rarement sur les chemins de fer américains, et dont on n'a pas à craindre la contagion dans un pays où l'on réduit le plus possible les dépenses improductives.

Les salles d'attente sont toutes très longues, et alignées parallèlement à la voie publique. Des marquises règnent sur toute la longueur. Les bureaux de distribution des billets sont logés dans des pavillons isolés placés dans l'intérieur des salles d'attente. Des cloisons divisent les salles pour permettre, suivant l'usage du pays, l'isolement des dames.

---

1. Le tarif est en général de 0 fr. 50 à 1 fr. 25 par colis.

Bâtiment de la station centrale de Saint-Louis. — Ce bâtiment renferme, ainsi qu'on le voit fig. 2, pl. XXXIX, deux salles d'attente. Sur la salle d'attente des dames, on a pris l'emplacement du bureau de distribution des billets. Ainsi qu'à Kansas-City, le restaurant, principalement utilisé par les hommes, remédie à l'exiguïté relative de la salle d'attente qui leur est affectée. A chacune des salles sont joints des cabinets de toilette et des water-closets.

Les locaux de service comprennent, outre le bureau des billets, un bureau de télégraphe, et à chaque extrémité un bureau de bagages. Ces bureaux de bagages sont motivés par l'absence d'une halle abritant les quais de manière à permettre par tous les temps la manipulation des nombreux colis que comporte une station de cette importance.

La rue « Poplar street », par laquelle on accède au vestibule de ce bâtiment, est à un niveau inférieur à celui de la gare. Les marches rachetant cette différence de niveau sont placées dans le vestibule, en sorte que les voitures qui amènent les voyageurs peuvent arriver jusqu'à la porte d'entrée.

Des halles couvertes, l'une, partant du vestibule, l'autre, précédant le bureau de bagages situé près de la 11e rue, croisent les voies sur lesquelles stationnent les trains, et permettent ainsi l'accès des voitures à couvert.

Au delà de la 12e rue, dans un bâtiment isolé, se trouvent les locaux de trois compagnies spéciales de messageries : l'American Express Cy, l'United States Express Cy, et l'Adams Express Cy.

Hôtels dans les gares.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, les chemins de fer ont souvent jugé utile d'établir des hôtels dans les stations situées à une certaine distance des centres de population ou dans des villes dont les hôtels ne répondent pas aux exigences du public américain, plus grandes sous ce rapport que celles du public européen.

Certaines compagnies ont même fondé des hôtels avec des établissements de bains dans des localités pittoresques et bien situées, afin d'y provoquer la création de villes d'eau donnant lieu à un certain mouvement de voyageurs pendant la belle saison. On peut citer à ce sujet comme exemples les stations de : Deerpark, sur le

Baltimore et Ohio R.R.; Cresson, sur le Central Pennsylvanien, et White-Sulphur-Springs, sur le Chesapeake et Ohio R.R.

Parmi les hôtels établis dans de grandes stations mérite tout d'abord d'être mentionné l'hôtel établi dans le bâtiment de la station de Pittsburg, dont le rez-de-chaussée est uniquement consacré au service du chemin de fer proprement dit, tandis que le premier étage renferme les salles à manger et les salons de l'hôtel, dont les chambres se trouvent dans les étages supérieurs. Deux grands escaliers conduisent directement des quais d'arrivée et de départ au premier étage, dont les salons et la terrasse servent non-seulement aux voyageurs logés dans cet hôtel, mais aussi de lieu d'attente aux voyageurs de passage qui changent de train dans cette station.

Dans la station d'Altoona sur le même chemin de fer, le bâtiment principal renferme également un hôtel. Cette station ayant à desservir un mouvement moindre de voyageurs, les bureaux n'occupent qu'une petite partie du rez-de-chaussée, dont le reste est affecté au restaurant qui donne sur le trottoir couvert. Les étages sont entièrement utilisés comme hôtel. A Pittsburg, ainsi qu'à Altoona, l'hôtel est affermé par la compagnie de chemin de fer, auquel il appartient, à une société obligée de se conformer aux règlements de la compagnie.

On trouve des dispositions semblables sur d'autres lignes, parmi lesquelles nous citerons celles du Pacifique. Les bâtiments des stations où s'arrêtent les trains aux heures des repas renferment toujours une ou plusieurs salles à manger au rez-de-chaussée, et des chambres pour les voyageurs au premier étage. — C'est ce qui a lieu, par exemple, dans le bâtiment de la station de Cheyenne, sur l'Union-Pacific, dont nous avons déjà parlé. Dans les stations qui se trouvent éloignées des centres de population, et où il serait impossible de se loger à proximité de la station, les employés ont leur logement dans les bâtiments de la station.

Dans la station de Summit (Nevada) sur le chemin de fer du Central-Pacific, qui, en raison de son altitude (2148 mètres au-dessus du niveau de la mer), est très exposée aux encombrements de neige, et qui est séparée de tout lieu habité par des distances considérables, c'est le chef de gare qui cumule toutes les fonctions. Le bâtiment de la gare, pour être toujours abordable, se trouve relié par une galerie en bois à la galerie d'abri contre la neige sous la-

quelle passe la voie. Au rez-de-chaussée, à côté du bureau, se trouve la salle à manger; au-dessus, sont plusieurs chambres. Les différents corps de bâtiment sont également reliés par des galeries pour assurer la communication en tout temps.

Service des marchandises.

Magasins. — Les hangars établis dans les stations sont ou bien destinés à n'abriter que pour de courtes durées les marchandises qui arrivent ou qui partent, ou bien ils doivent en même temps servir de lieux de dépôt et d'emmagasinement pour de grandes quantités de marchandises. Ce n'est que des hangars rentrant dans la première de ces catégories qu'il y a lieu de parler ici, car les grands entrepôts, lors même qu'ils sont administrés par les compagnies de chemins de fer, constituent néanmoins des entreprises toutes spéciales.

Les hangars pour les marchandises ne diffèrent pas dans leurs dispositions générales de ceux de nos chemins de fer; ils sont pour la plupart construits en charpente; le plancher se trouve de $1^{m},20$ à $1^{m},30$ au-dessus du niveau des rails, et le bord du plancher est à environ un mètre de distance du rail extérieur de la voie qui dessert le magasin. Les combles ont de 6 à 8 mètres de portée.

Sur la pl. XXXIV, fig. 4, nous avons donné la section transversale du magasin de la station de Rowlett, qui peut être considéré comme un type des petits magasins.

Lorsque les magasins sont établis sur le bord des quais fluviaux ou maritimes, on leur donne, ainsi que nous l'avons vu en décrivant la gare maritime de Boston (pl. XXXIX, fig. 3), à cause du prix élevé des terrains, plusieurs étages de hauteur : aussi les construit-on de préférence en fer et en maçonnerie pour écarter les dangers d'incendie, dès que leur importance et la valeur des marchandises qu'ils sont appelés à contenir le réclament.

Quais de transbordement. — Nous avons déjà vu que, dans les gares où les marchandises devaient subir un transbordement, les voies entre lesquelles doit se faire cette opération étaient séparées par un quai par lequel passaient, sans exiger ni descente, ni montée, les colis transbordés. Cette disposition se retrouve à la station de Louisville (pl. XXXIV, fig. 12), où le quai interposé entre la voie d'arrivée et celle de départ a $12^{m},20$ de largeur, et 215 mètres

de longueur, et sert spécialement aux bois, cotons, etc. Ce quai se termine par un plan incliné pour que des voitures puissent y accéder au besoin.

Les quais en charpente se construisent à très bon marché et ils dispensent d'appareils élévatoires. Ils permettent d'effectuer des opérations de transbordement sur un très grand nombre de wagons à la fois, tandis que, si l'on se servait de grues pour le transbordement, les wagons devraient être successivement amenés dans le rayon restreint de chacune des grues.

Ces manœuvres, en raison de la grande longueur des wagons américains et de l'absence des plaques tournantes, prendraient beaucoup de temps, en obligeant parfois à déplacer des trains entiers pour faire arriver un seul wagon devant un appareil élévatoire. Pour en réduire l'importance et éviter des pertes de temps, se traduisant par des chômages prolongés des wagons en gare, il faudrait multiplier dans une forte proportion les grues fixes. On préfère s'en passer pour réduire les dépenses d'installation des gares sans renoncer au bénéfice de la prompte réutilisation des wagons.

Les grues montées sur des wagons et pouvant se déplacer, en venant au-devant des wagons à charger et à décharger, sont toutefois exemptes des inconvénients que nous venons de signaler. Aussi en trouve-t-on assez fréquemment dans les gares de marchandises où, ainsi que nous l'avons déjà marqué plus haut, elles sont presque exclusivement employées avec les bigues (*derricks*), dont la mobilité vient également en aide à la difficulté de manœuvre des wagons.

Dans les magasins à plusieurs étages, il y a toujours des monte-charges.

Ponts-bascules. — Pour le service des charbons et des minerais, la constatation des quantités expédiées se fait par le pesage des wagons chargés dont on connaît le poids à vide. Les wagons arrivent, grâce à l'inclinaison de 5 à 10 millimètres par mètre que l'on donne aux voies, par la seule action de la pesanteur, sur les plateaux des ponts-bascules établis dans les stations d'expédition ou d'arrivage. Les plateaux des bascules correspondent à un ou plusieurs wagons,.suivant l'importance du trafic qu'ils doivent desservir.

Dans la station d'Altoona, le plateau de la bascule a 34 mètres de long, ce qui permet de peser simultanément huit wagons à charbon

à 4 roues, ou bien quatre wagons ordinaires à 8 roues. Cette bascule a une force de 100 tonnes et l'on peut y peser en un jour de 400 à 600 wagons.

La station de Mauch-Chunk, où il se fait un très fort trafic de charbon, ne peut peser que cinq wagons à quatre roues à la fois.

Pour la fabrication des ponts-bascules, comme pour toutes les autres parties du matériel des chemins de fer, il y a des maisons spéciales qui ne fabriquent que telles ou telles spécialités et qui s'appliquent tout particulièrement à les perfectionner, en se garantissant contre la concurrence par le plus grand nombre possible de brevets.

La plus ancienne des maisons spéciales pour les ponts-bascules est celle de Fairbanks. Un autre établissement, celui de Howe, lui fait concurrence, en donnant à ses plateaux des dispositions particulières pour amortir les chocs résultant du passage des wagons. La maison Howe interpose, ainsi qu'on le voit pl. XXXIX, fig. 17 à 19, des boulets en fonte entre le plateau et les supports qui transmettent la charge aux couteaux et leviers. Grâce au jeu de ces boulets, les déplacements horizontaux, inévitables lors du passage des wagons, n'agissent plus sur les couteaux, ce qui prévient leur usure rapide.

Pour mettre le mécanisme des bascules à l'abri de la fatigue résultant du passage des trains, la maison Fairbanks, à l'aide d'un changement de voie, établi près de la balance, dévie les wagons qui ne doivent pas être pesés. Ces wagons, au lieu de passer sur la voie supportée par le plateau de la bascule, s'engagent sur une deuxième voie dont l'axe est à environ $0^{m},40$ de celui de la première. Cette seconde voie a ses deux files de rails soutenues, l'une par la maçonnerie, l'autre par un longeron (pl. XXXIX, fig. 14 et 15) indépendant du tablier du pont-bascule.

Pour pouvoir faire les pesées avec une grande célérité et souvent sans que l'on ait besoin de faire arrêter les wagons sur la plateforme, il y a deux leviers sur lesquels circulent les poids marquant la charge (pl. XXXIX, fig. 20). L'un des leviers marque les tonnes, l'autre les livres. Le poids propre de chaque wagon n'éprouvant pas en général de variation d'un wagon à l'autre, on n'a plus à déplacer que le poids qui marque le nombre de livres, opération qui peut se faire en très peu de temps. Le plateau ayant une longueur correspondant à plusieurs wagons, le temps que met un

wagon isolé à franchir le plateau suffit généralement pour la pesée. La tare des wagons, qui est connue, se marque sur un troisième levier avec un poids spécial, ce qui permet de connaître par une lecture directe, faite sur les deux autres leviers et sans soustraction, le poids du chargement.

En tenant compte à la fois du poids à vide, de la charge et de la longueur des wagons, on est arrivé à la règle générale de construire les bascules pour autant de tonnes de force que le plateau a de pieds de longueur, soit pour une force d'autant de fois trois tonnes que la longueur du plateau compte de mètres.

Le prix des ponts-bascules varie suivant leurs dimensions et suivant leur force. La longueur du plateau et la charge qu'une bascule est capable de peser étant dans un rapport à peu près constant, on peut approximativement dire qu'un pont-bascule coûte, livré à l'usine, environ 450 fr. par mètre courant de plateau, soit 150 fr. par tonne de capacité. La mise en place augmente en général ces prix de 35 à 40 pour 100.

Services de l'entretien et de la traction.

Logements d'équipes. — Il nous reste à parler des maisons construites dans un certain nombre de stations pour loger les ouvriers de la voie. On se dispense de la construction de ces maisons lorsque les ouvriers trouvent à se loger dans des maisons particulières voisines du chemin de fer; mais, si on ne peut l'éviter, on y procède avec la plus grande économie.

Ainsi que nous aurons l'occasion de le voir plus loin, c'est en brigades de quatre à cinq hommes que travaillent les ouvriers de la voie. Ils ne sont pas échelonnés le long de la voie, mais se rendent ensemble à leur travail sur un point de la section correspondante qui comprend plusieurs kilomètres de chemin de fer. Il n'y a d'exception que pour certains points de la ligne, qui exigent absolument une surveillance continue.

C'est ainsi que l'on place des gardes (*watchmen*) dans les grandes tranchées ou dans les tunnels où des pierres se détachent souvent et pourraient compromettre la sécurité des trains — sur les grands ponts en bois exposés à prendre feu lors du passage des trains, et qui doivent, pour ce motif, être parcourus après chaque passage de trains — près des passages à niveau très fréquentés dans l'intérieur

des villes — sur les points où doivent être manœuvrés des signaux sémaphoriques et dans d'autres cas particuliers du même genre.

Pour ces gardes isolés, on construit de petites maisonnettes soit en maçonnerie, soit en bois, suivant les localités. Nous donnons, planche XXXIX, fig. 5 et 6, le dessin d'une guérite de garde surmontée d'un signal.

Quant aux équipes, les logements qui leur sont affectés se trouvent généralement dans les stations. Nous reproduisons (pl. XXXIV, fig. 9, 10 et 11) les dessins d'un logement d'équipe, tel qu'on les construit sur le chemin de fer de Louisville et Nashville.

Dans ces logements, il n'y a qu'une cuisine commune; ils ne peuvent donc guère servir que pour un ménage et trois ou quatre ouvriers non mariés.

Dépôts de locomotives (*Rotondes*). — Le parcours des locomotives varie en général, suivant le profil de la ligne et suivant la nature du trafic, entre 120 et 225 kilomètres. A l'extrémité de chaque section du service de la traction se trouve une de ces remises.

Les dépôts ne contenant qu'un petit nombre de locomotives sont carrés. Les voies pénétrant dans le dépôt se réunissent généralement à l'entrée ou à la sortie sur une plaque tournante.

Pour les dépôts qui doivent contenir une dizaine de locomotives, la forme universellement adoptée aux Etats-Unis est la forme circulaire. Au centre de la rotonde (*round house*) se trouve la plaque tournante, dont le diamètre est le plus souvent de 15^{m},25; mais il y en a qui n'ont que 13^{m},75, tandis que sur d'autres lignes le diamètre de la plaque tournante est porté à 19 mètres.

La profondeur du corps de bâtiment varie de 21^{m},50 à 23 mètres.

Afin de pouvoir, au fur et à mesure des besoins, augmenter à peu de frais la capacité des rotondes, on en a souvent construit de demi-circulaires, en laissant de 10 à 20 mètres d'intervalle entre la plaque tournante et le mur intérieur.

Contre le mur extérieur de la rotonde on établit parfois des ateliers et des feux de forge pour faciliter les réparations à exécuter dans la rotonde.

La façade intérieure de la rotonde est formée par des piliers en maçonnerie supportant les fermes de la toiture. Dans la rotonde récemment construite à West-Philadelphia, ces piliers sont remplacés par des colonnes en fonte; dans celles du chemin de fer de Philadelphia-Wilmington et Baltimore, on a employé des colonnes

en fer du système Phénixville, pour supporter à l'intérieur de la rotonde les fermes disposées en éventail.

Les fosses à piquer le feu sont, ou bien maçonnées, ou simplement maintenues par des cadres en bois, derrière lesquels sont implantés des madriers verticaux.

Pour empêcher la gelée de pénétrer à l'intérieur de la rotonde de Wilmington, des conduites de vapeur sont amenées dans les fosses à piquer le feu et sous le sol du bâtiment. Dans d'autres dépôts de locomotives, il y a de grands poêles en fonte.

Pour limiter le champ des incendies qui pourraient éclater dans les rotondes, on les divise en général par des murs radiaux qui s'élèvent jusqu'au-dessus des combles. Chaque secteur ainsi formé comprend, dans la rotonde de Wilmington, dix locomotives.

Nous donnons (pl. XXXVI, fig. 5 et 6)[1] les dessins de la rotonde exécutée dans la gare de West-Philadelphia pour quarante et une locomotives. C'est une rotonde complète dans laquelle pénètrent trois voies, et dont le pourtour présente quarante-quatre divisions (*stalls*).

La plaque tournante a $15^{m},25$ de diamètre; le corps du bâtiment a $19^{m},72$ de profondeur, et l'espace libre entre la plaque tournante et la façade intérieure de la rotonde mesure $18^{m},37$.

Le prix d'établissement d'une rotonde varie en général, par locomotive, entre 5000 et 7500 fr.; le chemin de fer de Louisville et Nashville établit toutefois ses rotondes, construites avec beaucoup d'économie, à raison d'environ 2500 fr. par locomotive. La rotonde de Wilmington, pouvant contenir vingt-huit locomotives, n'a coûté également que 2500 fr. par locomotive, soit en totalité 70 000 fr.

Autant que possible, les dépôts de locomotives se trouvent dans les stations où l'on établit des ateliers de réparation.

Ateliers.

Toutes les lignes de chemins de fer, même les plus petites, ont au moins un atelier (*shop*) dans lequel se font les réparations du matériel roulant. Sur les réseaux d'une étendue considérable, les ateliers doivent naturellement se multiplier, et l'on donne à certains d'entre eux un développement suffisant, non seulement pour y faire

1. Extrait de l'*Engineer*, 13 avril 1877.

les grosses réparations, mais encore pour y construire des wagons de voyageurs et de marchandises et des locomotives.

C'est ainsi que sur les chemins de fer du réseau pennsylvanien il y a quinze ateliers, parmi lesquels ceux d'Altoona ont une importance considérable. Plus de 1100 ouvriers y sont employés; la grande machine faisant mouvoir les machines-outils a une force de 250 chevaux. On y construit par an environ trente nouvelles locomotives, et le nombre des locomotives ayant subi dans cet atelier des réparations importantes a été, dans la seconde moitié de 1875, de plus de quatre cents, ce qui a entraîné une dépense d'environ 2 000 000 de francs.

Indépendamment des ateliers d'Altoona, qui ont acquis progressivement, au fur et à mesure des besoins, le développement qu'ils ont aujourd'hui, nous citerons parmi les ateliers du réseau pennsylvanien: ceux de Meadow, de Pittsburg et de Lambertville, qui occupent respectivement 1000, 500 et 200 ouvriers, et qui font les grosses réparations.

En général, on a cherché à placer vers le centre du réseau l'atelier le plus important. C'est ainsi que le chemin de fer de Philadelphia et Reading a son grand atelier à Reading; le chemin de fer du Lehigh-Valley, à Packerton, le chemin de fer de Philadelphia-Wilmington et Baltimore, à Wilmington.

Lorsque les pays traversés ne présentent pas sur leur parcours des ressources suffisantes au moment de l'ouverture de la ligne, on a toutefois dû déroger à cette règle.

C'est ainsi que les plus grands ateliers du chemin de fer Union-Pacific sont à Omaha, et ceux du Central-Pacific à Sacramento, c'est-à-dire dans le premier cas à la tête Est, dans le second près de la tête Ouest. De même, le chemin de fer de Louisville et Nashville a ses principaux ateliers à Louisville, c'est-à-dire à la tête Nord de la ligne.

Nous avons déjà vu, en parlant du second laminage des rails, que le chemin de fer Union-Pacific avait établi récemment, vers le milieu de son parcours, un atelier spécial pour le laminage à Laramie [1].

Les bâtiments qui constituent un atelier complet forment trois

1. Des ateliers semblables viennent d'être établis à Denver (Colorado) et à Ogden (Utah) pour les chemins situés dans ces deux États

groupes : celui des bureaux et magasins, celui du service des locomotives, et enfin celui du service des wagons de voyageurs et de marchandises. En dehors de ces bâtiments, il y a, à proximité des ateliers dans lesquels s'effectuent les réparations, des dépôts pour les locomotives et les wagons qui entrent aux ateliers ou qui en sortent.

Le premier groupe de ces constructions comprend les bureaux de l'administration, les hangars et quais pour dépôts de bois de construction et de charbon, et les magasins pour les diverses matières de consommation.

Le deuxième groupe comprend les rotondes pour locomotives, les ateliers de montage de locomotives, l'atelier des machines-outils, les forges, les fonderies, et souvent un atelier spécial pour la fabrication des roues en fonte.

Le troisième groupe, correspondant au service des wagons, embrasse des hangars pour les wagons (souvent établis en forme de rotonde comme les dépôts de locomotives), des ateliers de montage et de peinture, des ateliers contenant des outils spéciaux pour le travail des bois, la sellerie, une forge et d'autres ateliers pour la fabrication des coussinets, ressorts, etc.

Les bâtiments des ateliers établis dès le début en vue d'un mouvement considérable sont construits en brique, pierre, et fer ou fonte. Toutefois, un grand nombre d'ateliers importants se trouvent encore installés dans des bâtiments en charpente.

On cherche en général à grouper tous les bâtiments conformément à la division des services, telle qu'elle vient d'être indiquée. Il y a cependant des cas où, afin de pourvoir à leur extension, on les a trop éloignés les uns des autres. C'est ainsi que les ateliers des locomotives d'Altoona se trouvent tout près de la station, tandis qu'on a dû placer ceux des wagons et voitures à plus d'un kilomètre de distance. Quoique des voies de service bien disposées et indépendantes des voies parcourues par les trains relient tous les bâtiments des ateliers, cet éloignement présente des inconvénients évidents.

Pour faciliter les mouvements dans les ateliers, de nombreuses voies sont munies de plaques tournantes et de chariots roulants. C'est surtout pour les ateliers des voitures que les chariots roulants sont fréquemment employés.

Des services spéciaux se trouvent le plus souvent rattachés aux

ateliers. Ainsi, sur les chemins de fer qui emploient le gaz comprimé pour l'éclairage des voitures, c'est dans les ateliers que se trouvent les gazomètres et les pompes foulantes pour remplir les récipients.

De même, l'approvisionnement de la glace pour l'usage des voyageurs dans les salles d'attente et dans les voitures se fait en général là où se trouvent les ateliers, parce que c'est dans ces stations que se fait le changement des locomotives, et que l'on profite de l'arrêt pour renouveler dans les voitures les provisions de glace.

Ce service a en Amérique une importance qui n'est guère moindre que celle du service des chaufferettes sur nos chemins de fer. Il nécessite l'établissement de dépôts considérables pour la glace. Pour donner une idée de l'importance de la consommation de la glace, il nous suffira de dire que la capacité du dépôt de glace d'Altoona est d'environ 1200 tonnes.

Les plans des stations de Louisville, de Pittsburg et de West-Phidalelphia, montrent la disposition des ateliers annexés à ces trois importantes stations.

Ateliers de Louisville (pl. XXXIV, fig. 12). — Les ateliers de réparation pour les locomotives attenant à cette station ont, avec les voies et leurs dépendances, entre la 9e et la 10e rue, une longueur de 225 mètres environ, sur 75 mètres de largeur. Ils sont en communication directe avec les deux rotondes qui les séparent de la gare des marchandises.

Les deux grands ateliers de montage sont reliés par un chariot roulant qui, sur son parcours de 59m,50, dessert d'une part huit, d'autre part quinze voies.

A côté du plus grand de ces ateliers, qui a 75 mètres de long sur 41 mètres de large, se trouvent une fonderie et un atelier pour la fabrication des roues. D'autres bâtiments entourant la cour contiennent un bureau, des dépôts d'outils et matériaux divers, des magasins où sont approvisionnés l'huile et le sable ; un dépôt de coke, un réservoir d'eau, et des ateliers de peinture et des hangars complètent cette installation.

La forge et la fonderie de cuivre n'ayant pu être logées du même côté, on a dû les établir au delà de la 10e rue, près des ateliers de réparation des wagons de voyageurs.

Un local de 115 mètres sur 77 mètres, séparé par la rue « Kentucky street » des ateliers pour locomotives, auxquels il est relié par trois

voies, est affecté aux grosses réparations des wagons de marchandises : les wagons moins endommagés sont réparés dans un atelier en forme de rotonde, où une plaque tournante de 12^{m},50 de diamètre donne accès à onze voies. On y a annexé des hangars, des voies de garage, et un pont-bascule sur lequel on pèse chaque wagon sortant pour avoir sa tare.

Une voie relie cet atelier à celui des wagons de voyageurs situé de l'autre côté de la 10e rue. Cet atelier a 200 mètres de long sur 120 mètres de large.

Un chariot roulant dessert sur toute sa longueur l'atelier de réparation des wagons de voyageurs, et le fait communiquer avec l'atelier de peinture, qui a une forme particulière, celle d'un quart de rotonde renfermant neuf voies. La plaque tournante donnant accès à ces voies, au lieu d'être à double volée comme les plaques tournantes ordinaires, est supportée à l'une de ses extrémités par le pivot, tandis qu'à l'autre extrémité elle s'appuie sur des roues parcourant une voie circulaire qui a la forme d'un quart de circonférence. Entre cet atelier de peinture et la fosse du chariot roulant, on a construit tout récemment un second atelier de réparation pour voitures.

Enfin, un très grand atelier pour le travail des bois est placé à côté d'un hangar affecté aux bois de construction le long de la 11e rue. Les bâtiments renfermant le moteur et l'étuve pour les bois sont placés à une distance suffisante de ces deux constructions pour qu'ils soient à l'abri du danger d'incendie.

Ateliers de Pittsburg (pl. XXXV, fig. 1).— L'espace restreint dont on disposait pour la station de Pittsburg n'a pas permis de donner aux ateliers l'extension ni les dispositions que son importance comportait. Les ateliers et la rotonde sont enclavés les uns dans les autres. L'atelier de réparation des locomotives se trouve intercalé entre les deux rotondes; les ateliers pour la réparation des wagons, exigeant un développement plus considérable de voies de garage, ont été placés au delà des rotondes, du côté de la station proprement dite; ils sont desservis par un chariot roulant de 50 mètres de course, communiquant avec un faisceau de voies de garage greffé sur les voies principales.

Un chariot semblable, établi le long d'une des ailes de l'atelier de réparation des locomotives, relie cet atelier avec les rotondes et avec les voies de garage. Des forges, des magasins, des dépôts de

bois et de charbon sont rangés autour des ateliers, dont les deux plus grands, qui ont les mêmes dimensions, ont la forme d'un L.

Ateliers de West-Philadelphia (pl. XXXVI, fig. 1). — La grande station de West-Philadelphia, bien qu'établie à l'intérieur de la ville, a pu être aménagée, grâce à la prospérité du réseau pennsylvanien, dans des conditions qui ont permis de réserver pour les ateliers des emplacements en rapport avec les besoins actuels du service, en laissant même une certaine marge pour leur agrandissement ultérieur.

Compris entre les voies de garage des marchandises et la 30e rue, qui les sépare d'un grand parc à bestiaux, ils s'étendent depuis les voies conduisant à un grand entrepôt de grains jusqu'à la rotonde, placée, ainsi que le réclame un service bien organisé, à proximité de l'atelier de réparation des locomotives.

Un chariot roulant de 80 mètres de course, établi entre les ateliers de réparation des locomotives et des wagons de voyageurs, dessert ces deux ateliers.

A 80 mètres environ de distance des ateliers pour wagons de voyageurs se trouvent les ateliers affectés aux wagons de marchandises, traversés par six voies et longés par des voies de garage.

Aménagement intérieur des ateliers.— La plupart des ateliers présentent des dispositions intéressantes au point de vue de l'outillage. La grande uniformité du matériel roulant et le prix élevé de la main-d'œuvre y ont fait rechercher tous les moyens de remplacer celle-ci par le travail mécanique. Non seulement on y retrouve toutes les installations usitées en Europe pour faciliter le transport des pièces lourdes, comme les grues et les chariots roulants mus par de petites machines spéciales, mais encore les machines-outils, surtout celles qui y sont employées pour le travail des bois, méritent tout particulièrement d'attirer l'attention. Nous devons signaler en outre les soins apportés à la ventilation et au chauffage qui ont donné lieu à des installations spéciales, notamment dans les ateliers pour le travail du bois et dans les ateliers de peinture et de vernissage. Des ventilateurs aspirent les sciures et les copeaux produits par les machines pour les projeter dans des foyers.

Les grandes compagnies de chemins de fer ont d'ailleurs, indépendamment des ateliers de réparation, d'autres ateliers où elles fabriquent leur matériel roulant, parfois des usines où elles exé-

cutent les rails et les accessoires de la voie, et des mines d'où elles tirent le charbon qu'elles consomment.

Pour toutes les agglomérations d'ouvriers qu'entraîne la création de ces établissements, des écoles, des églises, des hôpitaux, souvent construits par les compagnies, témoignent de leur sollicitude pour le bien-être physique et moral de leurs employés.

INSTALLATIONS POUR L'ALIMENTATION DES LOCOMOTIVES.

Service du combustible.

Nous avons déjà dit, en parlant des stations moyennes, que les installations pour la fourniture du combustible aux machines ne présentent en général rien de particulier, et que, sauf le cas de l'espacement trop considérable des stations de rechange des locomotives, c'est dans ces stations que les machines prennent avant de partir la quantité de combustible nécessaire pour leur parcours.

Il y a toutefois des lignes où les machines ont à fournir des parcours plus considérables, et elles doivent alors s'alimenter de combustible sur leur trajet.

Le combustible se trouve, en pareil cas, disposé sur des estrades élevées près de l'endroit où s'arrêtent les locomotives dans la station, afin que le chargement sur le tender puisse se faire sans exiger de manœuvres de gare. Si c'est du charbon que l'on brûle, on espace les stations d'alimentation de 90 à 150 kilomètres au plus; mais, si l'on brûle du bois, et cela arrive encore assez souvent sur les chemins de fer nouveaux [1] et sur ceux des États du Sud, les distances entre les stations où se fait l'approvisionnement de combustible sont bien moindres. Sur un grand nombre de chemins de fer des États du Sud, on s'arrête en dehors des stations, aux endroits mêmes où se font les coupes de bois, pour s'approvisionner de ce combustible empilé sur divers points de la voie par des escouades de nègres.

1. En 1873 on chauffait encore les locomotives au bois dans la section du Central Pacific R. R., comprise entre Sacramento et Truckee, longue de 193 kilomètres. Le bois était également employé pour le chauffage des locomotives sur l'embranchement de 274 kilomètres de Sacramento à Redding, dit Oregon-Division du Central Pacific R. R., et sur le California Pacific R. R., dans la section de San Francisco, à Calistoga, longue de 106 kilomètres.

Sur le chemin de fer de Philadelphia-Wilmington et Baltimore, on rencontre pour le chargement des tenders une installation qui permet à la fois le contrôle des quantités et un chargement expéditif.

Un dépôt de charbon est établi sur un terrain contigu à une tranchée du chemin de fer, assez profonde pour qu'un pont franchissant cette tranchée laisse au-dessus des rails une hauteur libre de 6 mètres. Le charbon est conduit au dépôt sur une voie spéciale à forte rampe qui s'embranche à quelque distance de la tranchée. Pour opérer le chargement des tenders, on remplit au dépôt des wagonnets circulant sur une voie étroite et ayant une capacité d'une tonne, qu'on amène sur le pont à l'aplomb du tender. En abaissant une trémie et ouvrant le clapet de fond du wagonnet, on fait tomber tout son contenu dans le tender.

Cette disposition, dont nous ne connaissons que ce seul exemple, mérite d'être signalée comme présentant le double avantage de se prêter à un chargement très rapide du tender et à une mesure très exacte de la consommation.

Service de l'eau.

Le service de l'eau offre beaucoup plus d'intérêt et mérite d'être traité avec plus de détails.

Pour ce service, il y a lieu de distinguer les moyens employés :

1° Pour obtenir l'eau;

2° Pour l'emmagasiner;

3° Pour la faire arriver dans les tenders.

Sur les chemins de fer nouveaux, où l'on vise à la plus grande économie, on ne s'est pas attaché à placer les prises d'eau dans les stations. Lorsque l'on rencontre des cours d'eau ou des sources pouvant assurer une bonne alimentation, c'est-à-dire présentant des chances de régularité suffisante et fournissant de l'eau de bonne qualité, c'est près de ces cours d'eau ou de ces sources, quand même ils seraient en dehors des stations, que l'on s'arrête pour alimenter la locomotive. Une conduite, prenant naissance à un niveau assez élevé pour pouvoir amener dans des réservoirs les eaux du cours d'eau ou de la source, sert en pareil cas à l'alimentation.

Sur la ligne de Chesapeake-Ohio, dont l'avenir paraît assez assuré pour qu'elle n'ait pas à reculer, d'ici à quelques années, devant la

dépense nécessaire pour établir des prises d'eau dans toutes les stations qui en comportent, nous avons encore vu, en 1876, des trains s'arrêter en route pour s'alimenter à des réservoirs établis à la rencontre de sources.

Lorsque l'eau est prise à un niveau trop bas pour pouvoir être amenée directement au réservoir, des pompes sont établies pour l'élever à une hauteur convenable.

De toutes les lignes américaines, celle sur laquelle le problème de l'alimentation a présenté le plus de difficultés est la ligne du Pacific, comprenant les chemins de fer de l'Union et du Central Pacific.

Au début de l'exploitation de l'Union Pacific, on n'avait pu encore établir aucune prise d'eau entre les stations de Rawlins et Green-River, sur une longueur de 227 kilomètres. Des wagons spéciaux transportaient l'eau nécessaire pour alimenter les machines sur ce parcours.

On avait dû renoncer à établir des prises d'eau, à cause de la présence dans le sol de sels qui rendaient impropres au service des machines toutes les sources et cours d'eau rencontrés par cette partie de la ligne.

On avait bien essayé, sur une autre section de l'Union Pacific R.R., se trouvant dans des conditions analogues, d'établir une conduite de 75 millimètres de diamètre sur environ 130 kilomètres, mais le prix élevé de cette conduite, et plus encore son entretien coûteux et ses fréquentes obstructions, n'étaient pas de nature à encourager l'emploi de ce système d'alimentation.

L'établissement de rigoles à ciel ouvert pour amener l'eau de bonne qualité de sources lointaines, essayé d'abord, avait dû être abandonné également, parce que sur leur parcours l'eau se chargeait des sels dont les terrains traversés étaient imprégnés.

Il fallait donc continuer à faire effectuer le transport de l'eau par des trains spéciaux, et en général, malgré le peu d'importance du trafic, un train à eau par jour était nécessaire pour alimenter la seule section de Rawlins. La dépense annuelle résultant de l'emploi de ce système d'alimentation atteignait environ 350 000 francs, lorsqu'on se décida, en 1870, à rechercher l'eau douce à de grandes profondeurs. Sept puits furent commencés entre Rawlins et Green-River.

Ces forages ont pleinement réussi, et avec une dépense qui n'a pas dépassé celle du transport de l'eau pour une seule année, on

est parvenu à pourvoir largement aux besoins de l'alimentation. Les puits ont été commencés avec un diamètre de $0^m,15$, et, bien qu'il y en eût dans le nombre qui atteignissent plus de 200 mètres de profondeur, leur diamètre n'est pas descendu au-dessous de $0^m,10$.

Dans les commencements, l'eau jaillissait à une certaine hauteur au-dessus du sol, mais le débit n'a pas tardé à diminuer, et l'on a été finalement forcé d'établir des pompes.

La Compagnie du chemin de fer du Central Pacific, qui, sur de grandes longueurs, avait commencé par poser des conduites en bois, avait été obligée, en 1873, de les remplacer à grands frais par des tuyaux en fer et en fonte. Le succès obtenu sur le chemin de fer de l'Union Pacific par le forage de puits profonds l'engagea à en essayer aussi le percement. Deux premiers puits forés à la station de Hot Springs, à 560 kilomètres de San Francisco, durent être abandonnés à environ 210 mètres de profondeur. Le troisième, après avoir traversé successivement des couches d'argile, de lave, de grès, de gravier et de trapp, et avoir rencontré des nappes très pauvres d'eau chaude chargée de sels, finit, à 400 mètres de profondeur environ, en atteignant des couches de grès, par donner de l'eau en abondance et de bonne qualité.

Moulins à vent.— Sur un certain nombre de lignes, on a installé tout d'abord, pour actionner les pompes élévatoires, des moulins à vent, qui, malgré leur remplacement progressif sur un grand nombre de points par des machines à vapeur, plus aptes à assurer d'une manière permanente le service de l'alimentation, n'en continuent pas moins à jouer un rôle assez important dans ce service pour beaucoup de lignes.

Le chemin de fer de Lake-Shore et Michigan-Southern se sert d'une trentaine de moulins à vent pour l'alimentation de ses réservoirs, et ce n'est que dans les stations les plus importantes que ce chemin de fer a établi des pompes à vapeur.

Sur le versant du Pacifique, où les vents alternants assurent d'une manière à peu près permanente la marche des moulins à vent, les chemins de fer les emploient encore très généralement.

On peut dire, en définitive, que les moulins à vent sont en Amérique les moteurs les plus employés pour l'alimentation des machines sur les chemins de fer nouveaux établis dans les pays qui, sans être exposés à des ouragans, jouissent, grâce à leur position topographique, de vents fréquents.

Ces moteurs ont pour eux l'avantage d'être peu coûteux à établir et de n'exiger, grâce au système de construction perfectionné qui leur est appliqué en Amérique, ni grande surveillance ni entretien dispendieux. Par contre, en raison de l'intermittence de leur fonctionnement, ils entraînent l'établissement de réservoirs d'une capacité assez grande pour faire face aux plus longues périodes de calme. On a du reste généralement soin de donner aux pompes mues par des moulins à vent des dispositions telles qu'au besoin elles puissent être actionnées soit à bras d'homme, soit par un manège.

Le diamètre des ailes des moulins à vent varie suivant la force qu'on leur demande; il est habituellement de 5 à 8 mètres; le vent agit sur une série de palettes disposées comme des persiennes et réunies de manière à former une couronne. Sur l'axe de la roue se trouve le plus souvent un grand gouvernail. Pour pouvoir modérer l'effet du vent, les palettes sont susceptibles de changer d'inclinaison par rapport au plan de la roue. A cet effet, les portions de couronne dont se compose chaque roue peuvent tourner autour d'axes situés dans le plan de la roue, et dirigés suivant les rayons ou suivant la normale au rayon du milieu de chaque portion de couronne.

Le gouvernail oblige la roue à se placer toujours normalement par rapport à la composante horizontale du vent, mais les palettes de la roue présentent au vent des surfaces plus ou moins effacées, suivant la position que l'on donne aux châssis mobiles portant ces palettes. On a imaginé un grand nombre de dispositions pour assurer l'automobilité de ces châssis, de telle sorte qu'avec l'intensité croissante du vent les palettes des roues puissent prendre des positions de moins en moins favorables à son action. De plus, au moyen de flotteurs reliés par des tringles à ces mêmes châssis, ces derniers subissent des déplacements tels, que la marche du moulin se ralentit et finit même par s'arrêter, lorsque le niveau de l'eau du réservoir a atteint le maximum admis.

La fig. 7, pl. XXXIII, montre la disposition d'un moulin à vent du système Raymond. Si le vent devient trop violent, il fait pivoter autour de leurs axes les ailes ou châssis placés au pourtour de la roue et figurés en coupe transversale par les lignes MN, et les amène aux positions M'N'. Le poids A est soulevé dans la position A' par les leviers ML, LO et KD, agissant sur le manchon DC, qui glisse sur l'axe OO et commande le levier CB, lorsque les ailes prennent la position M'N'.

Dès que l'intensité du vent diminue, le poids revient de A' vers A et ramène les châssis à la position initiale MN.

De plus, la tringle R, rattachée par un levier à un flotteur dans le réservoir, rend la position des châssis dépendante du niveau de l'eau dans le réservoir.

Les ailes étant effacées par la violence du vent, le flotteur se trouve soulevé et il émerge, quand même le réservoir ne serait pas rempli. Le poids de ce flotteur concourt en pareil cas, avec le poids A, à hâter la remise en activité du moulin à vent. Par contre, si le réservoir est plein ou à peu près plein, le flotteur arrête ou ralentit la marche du moulin par l'intermédiaire de la tringle R.

Les moulins du système Althouse et Raymond sont construits avec ou sans gouvernail : le système à gouvernail, qui assure mieux la direction de la roue et permet de l'équilibrer, est le plus employé.

La pompe mue par le moulin est généralement commandée, d'une manière directe, par une bielle aboutissant à un bouton de manivelle porté par une roue pleine calée sur l'arbre du moulin.

Il existe un grand nombre de systèmes de construction pour les moulins à vent; les moulins à panneaux mobiles paraissent être ceux qui sont les moins sujets à se déranger et qui exigent le moins de frais d'entretien.

Un de ces systèmes, celui de M. Fussin, a cela de particulier, que l'on y peut, en manœuvrant le gouvernail au moyen de leviers, changer la direction du plan de la roue par rapport à celle du vent, et faire varier ainsi à volonté la vitesse de la marche.

Dans les stations où l'on doit recourir à des pompes et dans lesquelles, pour les raisons indiquées plus haut, les moulins à vent ne peuvent être employés, on installe des pompes à vapeur.

Ces stations sont généralement desservies, ainsi que cela se pratique en Europe sur un grand nombre de lignes secondaires, par un mécanicien ambulant qui se transporte successivement aux diverses stations de prises d'eau.

Dans les villes pourvues de conduites d'eau, les chemins de fer recourent souvent aux établissements municipaux pour l'alimentation des stations.

Réservoirs.— Les réservoirs, dont la capacité se règle à la fois sur le nombre des machines à alimenter et sur la plus ou moins grande régularité assurée au service des pompes, sont généralement con-

struits en bois. Le choix de cette matière et les soins particuliers apportés à la construction des réservoirs concourent à les mettre à l'abri de la gelée. Dans les pays sujets à des hivers rigoureux, on munit le toit, qui recouvre partout les réservoirs, d'un revêtement intérieur; l'intervalle entre le toit et le revêtement intérieur est rempli d'un corps mauvais conducteur de la chaleur; quelquefois on en enveloppe le réservoir tout entier.

La forme donnée aux réservoirs varie d'un chemin à l'autre : ainsi, sur le chemin de fer de Philadelphia-Reading, on les construit de forme carrée, ainsi que l'indiquent les fig. 1 à 4, pl. XXXIII. Les madriers formant les parois de ce réservoir, d'une contenance d'environ 90 mètres cubes, ont $0^{m},15$ d'épaisseur; ils sont assemblés au moyen de cadres formés par des bois de $0^{m},20$ sur $0^{m},15$, et de tringles en fer. Un des avantages de cette construction, c'est qu'elle n'exige pas d'ouvriers spéciaux; le premier charpentier venu peut les exécuter, tandis que l'exécution des réservoirs de section circulaire exige généralement des ouvriers spéciaux.

Ces réservoirs ronds, qui sont très répandus, et dont nous donnons un spécimen fig. 6, pl. XXXIII, ont l'avantage d'être plus légers et moins exposés aux fuites.

Lorsque le réservoir doit être placé à côté de la voie principale ou dans l'intérieur de la station de manière à permettre d'y prendre de l'eau directement, l'exiguïté de l'espace s'oppose souvent à l'emploi de grands réservoirs cylindriques; suivant les cas, on emploie alors, soit plusieurs cuves de moindre diamètre juxtaposées, soit des réservoirs carrés de forme allongée.

Prises d'eau. — La prise d'eau se fait toujours par le bas du réservoir, et l'orifice du tuyau de décharge est fermé par un clapet qui se manœuvre du dehors.

Si l'alimentation du réservoir se fait au moyen d'un moulin à vent, on est généralement forcé de placer le moulin à vent avec le réservoir en dehors de la station, en un point non abrité, pour assurer plus de régularité à la marche du moulin. Sauf ce cas et celui de l'insuffisance d'espace dans la station, on cherche, pour éviter les frais d'établissement de conduites et de grues hydrauliques, généralement coûteuses, et où l'eau est en outre plus ou moins exposée à la congélation par les grands froids, à placer les réservoirs près des voies, pour que les machines s'y alimentent directement.

Pour accélérer l'alimentation, on dispose toujours les prises d'eau de telle sorte que le personnel de la machine, sans quitter son poste, puisse amener au-dessus du tender la manche servant à l'alimentation, et ouvrir ou fermer le clapet d'admission d'eau. Le tuyau d'amenée est souvent disposé, ainsi que le montre la fig. 5, pl. XXXIII, de façon à pouvoir se soulever en tournant autour d'un axe horizontal. Il se trouve équilibré par un contre-poids attaché à une corde qui passe sur une poulie. Le mécanicien n'a qu'à attirer cette manche pour que l'alimentation commence, et il suffit d'une simple impulsion pour la ramener à la position verticale une fois que le tender est rempli.

Pour ouvrir le clapet d'admission, on se sert ou bien d'une corde tirant un levier, ainsi qu'on le voit fig. 6, pl. XXXIII, ou bien d'une tringle attachée à ce levier que l'on remonte ou abaisse au moyen d'une roue formant écrou, comme le montrent les fig. 1 à 4, pl. XXXIII. Dans les deux cas, le chauffeur peut faire la manœuvre sans descendre de la machine. Le mécanisme, comprenant le clapet, le tuyau mobile, et la tringle ou la corde pour la manœuvre, s'adapte facilement à tous les réservoirs. Des établissements de construction le fournissent à des prix variant entre 350 et 450 francs pour des prises d'eau de 0m,15 à 0m,20 de diamètre.

Pour pouvoir établir deux prises d'eau dans une station munie d'un réservoir, en les plaçant de manière à dispenser les locomotives d'effectuer des mouvements de gare, il est nécessaire d'établir au moins une grue hydraulique. Nous avons vu, d'autre part, qu'il y a des cas où l'éloignement du réservoir ne permet pas d'y prendre l'eau directement. Les grues que l'on établit en pareil cas sont très simples et construites, ainsi que le montre la fig. 5, pl. XXXIII, sur le même principe que les prises d'eau des réservoirs.

L'espacement des prises d'eau varie principalement suivant la capacité des tenders et suivant le profil en long de la ligne.

Pour la ligne principale du chemin de fer de Louisville et Nashville, nous avons marqué sur le profil en long, fig. 3, pl. III, l'emplacement des prises d'eau. Leur espacement varie entre 5 et 40 kilomètres. Le plus grand rapprochement correspond aux cas où l'eau est peu abondante ; il arrive parfois que deux prises d'eau sont appelées à se suppléer réciproquement. Sur la ligne de Louisville à Montgomery, longue de 788 kil., il y a en tout trente-sept prises

d'eau : leur distance moyenne est donc de 21 kilomètres environ. La distance moyenne des prises d'eau peut être, en général, prise de 30 à 32 kilomètres.

Tout en plaçant les grues à eau aux endroits où s'arrêtent les machines et tout en donnant aux prises d'eau les dispositions qui viennent d'être décrites, on n'en a pas moins à subir des arrêts et des pertes de temps très sensibles. Pour les éviter, la compagnie du Pennsylvania R.R. a introduit sur la ligne de Philadelphie à Pittsburg le système de prise d'eau Ramsbottom, déjà appliqué avec succès en Angleterre à l'alimentation pour les trains rapides.

On sait que ce système d'alimentation consiste dans l'établissement de rigoles horizontales, de 200 à 400 mètres de longueur, placées dans l'axe de la voie au niveau des rails. Le tender marchant à grande vitesse y puise l'eau au moyen d'un tube susceptible d'être abaissé, de manière à pouvoir plonger dans cette rigole. Des signaux fixes, placés de part et d'autre de ces rigoles d'alimentation, indiquent au mécanicien le moment où il doit successivement abaisser, puis relever la manche de prise d'eau.

L'alimentation de ces rigoles, qui naturellement ne peuvent être établies qu'en palier, se fait par des réservoirs placés à proximité et reliés par des conduites avec les rigoles.

Ce système d'alimentation présente l'inconvénient de donner lieu à des déperditions d'eau inhérentes au mode même de puisement; de plus, il est impraticable pendant les grands froids. Il constitue en quelque sorte une alimentation de luxe, puisqu'il ne dispense pas d'établir des prises d'eau ordinaires pour le service des trains de marchandises et des trains de voyageurs autres que les express.

Il paraît, pour ces motifs, appelé à rendre peu de services en Amérique, où les hivers sont généralement rigoureux, les chemins de fer, installés le plus souvent dans des conditions très économiques, et les trains de grande vitesse, restreints à un très petit nombre de lignes.

En résumé, les systèmes auxquels on a recours en Amérique pour l'alimentation des machines témoignent de la même tendance constante, déjà signalée à diverses reprises, à se régler, pour toutes les installations qu'entraînent les voies ferrées, sur les conditions plus ou moins favorables que rencontrent leur création et leur développement.

L'arrêt en pleine voie pour prendre le bois en pleine forêt, ou l'eau à la rencontre des sources, d'une part, l'installation pour le chargement du charbon telle qu'elle est pratiquée sur le chemin de fer de Philadelphia, Wilmington et Baltimore, et les prises d'eau du système Ramsbottom du chemin de fer de Pennsylvanie, d'autre part, marquent les termes extrêmes de la série des systèmes d'alimentation qui correspondent à la variation de ces conditions.

CHAPITRE XII

SIGNAUX

L'organisation des signaux sur les chemins de fer américains est loin de présenter le même intérêt que celle des autres parties du service. Son importance varie plus qu'ailleurs avec l'importance des lignes elles-mêmes.

A voir certains chemins de fer dépourvus de tout l'appareil de signaux que l'on a pris l'habitude en Europe de considérer comme indispensable pour l'exploitation des chemins de fer, on est étonné du peu d'accidents qui résultent de cette organisation imparfaite.

Disons tout de suite, sauf à y revenir plus tard, que les freins continus et très énergiques[1] dont tous les trains de voyageurs sont aujourd'hui munis, ainsi que la grande lanterne (*head light*) fixée en tête de chaque locomotive, et servant non seulement à signaler l'approche du train, mais encore à éclairer à de grandes distances la portion de voie sur laquelle il va s'engager, contribuent notablement, avec la vitesse généralement modérée des trains, à diminuer les dangers pouvant résulter de l'imperfection des signaux établis le long de la voie.

Les chemins de fer dépourvus de tout appareil servant à correspondre avec le personnel du train sont en général ceux qui n'ont qu'un faible trafic. Le télégraphe qui fait communiquer les stations tient lieu de tout signal.

Signaux fixes.— Il y a toutefois le long de ces lignes des poteaux indicateurs et des écriteaux servant à rappeler au mécanicien certaines prescriptions. Nous avons déjà dit que des poteaux portant les initiales W ou B indiquent au mécanicien les endroits où il doit

---

1. Le plus généralement c'est le frein Westinghouse à air comprimé, qu'emploient les chemins de fer américains.

faire entendre le sifflet (*Whistle*), ou sonner la cloche (*Bell*). De même, des inscriptions bien visibles marquent les points où il doit y avoir ralentissement ou arrêt.

La cloche fixée sur la locomotive joue un rôle important dans le service d'exploitation des chemins de fer américains. Elle remplace non seulement le sifflet servant à annoncer l'approche des trains au public, mais encore les cloches des stations.

L'arrêt est obligatoire pour tous les trains à certains points, tels que les croisements à niveau de la voie, soit avec des routes très fréquentées, soit avec d'autres chemins de fer.

Les abords des stations sur les lignes dépourvues de signaux sont également signalés d'une manière analogue ; mais l'agent de la station n'a d'autre moyen à sa disposition pour arrêter un train que le signal qu'il peut faire en agitant soit les bras, soit un drapeau ou une lanterne. Sur les chemins de fer à faible trafic, il n'y a du reste généralement pas de service de nuit.

A côté de ces chemins de fer où le train une fois parti de la station ne peut plus recevoir d'ordre ou d'avis qu'à la station suivante, avertie par le télégraphe, il en est d'autres dont l'organisation au point de vue des signaux ne le cède en rien à celle des meilleurs chemins de fer européens.

Les chemins de fer à grand trafic des États de l'Est en particulier sont munis de tous les signaux perfectionnés connus jusqu'à ce jour; on peut même dire qu'ils en abusent presque, en ce qu'ils conservent les signaux sémaphoriques, tout en se servant des signaux manœuvrés à distance par des moyens mécaniques ou par l'électricité.

Sur ces lignes à grand trafic, les ingénieurs de l'exploitation n'ont pu manquer dès le début de se préoccuper de la nécessité de mettre en rapport les agents stationnaires avec les agents préposés à la conduite des trains, qui marchent avec des vitesses très différentes.

Signaux sémaphoriques. — Le premier progrès de l'organisation des signaux sur la voie courante a consisté dans l'établissement de signaux sémaphoriques sur les points où la vue de la voie était masquée aux mécaniciens par la configuration du terrain.

C'est ainsi que le chemin de fer de Philadelphia-Reading a établi sur sa ligne principale, qui est à deux voies et à grand trafic, des maisons de garde spéciales portant des signaux élevés de 10 à 15 mè-

tres au-dessus du sol, dont la manœuvre se fait de l'intérieur de la maison de garde (pl. XXXIX, fig. 5 et 6).

Au rez-de-chaussée, il y a une pièce dans laquelle le garde qui n'est pas de service peut se tenir. Elle est surmontée d'un étage entouré d'un balcon. Dans cette deuxième pièce, se trouvent les deux leviers commandant les disques des signaux établis au-dessus. Les deux signaux servent, l'un pour les trains venant d'un côté, l'autre pour les trains venant du côté opposé. Une paroi, placée perpendiculairement à la direction de la voie, sépare les deux signaux. Les signaux sont des écrans en tôle, peints en rouge d'un côté, en bleu de l'autre. La paroi de séparation est noire, pour faire mieux ressortir la position et la couleur des signaux. La nuit, des lanternes de couleur correspondante sont attachées aux disques. Dans l'intérieur de la chambre du garde, et au-dessus du levier, se trouvent des disques colorés de telle façon, que, suivant la position donnée au signal, le levier indique, en s'y arrêtant, la couleur que les panneaux mobiles du signal extérieur montrent aux trains.

Les signaux sémaphoriques de la plupart des autres lignes sont simplement supportés soit par des poteaux, soit par des bâtis en fer.

Il arrive souvent que les signaux ne servent que de jour : en pareil cas, ils consistent fréquemment, comme sur le chemin de fer de Philadelphia, Wilmington et Baltimore, et sur celui de Baltimore et Ohio, en une potence portant de chaque côté une poulie, pour pouvoir hisser de part et d'autre un ou deux ballons rouges. Par la combinaison des différentes positions de ces ballons, on obtient les signaux de voie libre, de ralentissement et d'arrêt (pl. XXXIX, fig. 4).

Sur le chemin de fer de l'Érié, les signaux sémaphoriques placés aux croisements de voies sont employés pour les services de jour et de nuit. Le ballon unique en tôle est peint en rouge, et garni sur sa zone centrale de verres rouges (pl. XXXIX, fig. 7). La nuit, une lanterne fixée au centre du ballon sert à l'éclairer. Pour dérober le ballon à la vue, lorsque la voie est libre et qu'il se trouve abaissé, on le loge derrière une cloison établie au pied du poteau.

Ce système de signaux, comme ceux des chemins de fer du réseau Pennsylvanien, de Detroit et Milwaukee, etc., où l'on se sert de lanternes pour le service de nuit, a cet inconvénient, que les lampes

subissent, par l'effet de la manœuvre, des mouvements soit de rotation, soit de montée et de descente. Les lanternes sont ainsi exposées à s'éteindre : c'est pourquoi en Europe on recourt généralement, pour les signaux de nuit, à l'interposition de verres colorés évitant le déplacement de la lumière. L'usage assez répandu en Amérique de cacher entièrement la lumière pour ne la montrer que d'une manière intermittente rend en outre assez difficile le contrôle de l'état du signal.

Sur le réseau pennsylvanien, on a relié le levier de manœuvre de certains changements de voie à l'arbre vertical du signal sémaphorique, afin qu'il y ait concordance assurée entre leur position et ce signal, visible à une grande distance (pl. XXXIX, fig. 8 et 9).

Signal système Nunn. — Aux abords des stations, avant d'en arriver à établir des signaux commandés par un appareil de manœuvre situé dans la station même et transmettant des indications au moyen de câbles ou de tringles à de grandes distances, c'est-à-dire des signaux à distance, on s'est borné pendant quelque temps à introduire sur certaines lignes, comme sur les chemins de fer canadiens, le Grand Trunk et l'Intercolonial, le signal Nunn, qui, placé au milieu de la station, reproduit sur un petit cadran, dans l'intérieur du bureau du chef de gare, la position donnée au signal.

Aujourd'hui, les signaux à distance sont d'un usage général dans les grandes stations, et même aux abords des petites stations situées sur des lignes à grand trafic.

Signal Rousseau. — Un appareil inventé par M. Rousseau, ingénieur canadien, a pour objet, tout en remplissant le même rôle que les signaux à distance ordinaires, de faire régler, par la marche même des trains, la position des signaux.

Les signaux sont de plus reliés entre eux, de manière à satisfaire à la condition qui leur est aujourd'hui généralement imposée, de fermer une section de la ligne à tout train marchant sur une voie, tant que le train qui s'y trouve déjà engagé ne l'a pas quittée. En d'autres termes, le signal Rousseau est un signal automatique réalisant ce que les Anglais et les Américains nomment le *block system*.

Nous croyons devoir entrer dans quelques détails sur le signal Rousseau, qui n'est pas encore aussi connu qu'il mérite de l'être, et qui depuis quelques années est appliqué avec succès sur les

chemins de fer de Philadelphia-Reading, de Philadelphia, Wilmington et Baltimore, et de New-York-Harlem.

Le signal Rousseau est un signal électrique en ce sens que le disque (pl. XXXIX, fig. 12 et 13) ne peut faire aucun mouvement avant que le décliquetage n'ait été opéré, au moyen d'un courant électrique agissant sur un électro-aimant qui détache un loquet d'arrêt.

Le disque signal est monté sur un rouage qui le fait mouvoir à l'aide d'un poids. A chaque décliquetage, le disque fait un quart de révolution. Le rouage et la descente du poids sont disposés de manière à permettre 350 quarts de révolution. Une fois monté, le disque peut donc donner 350 signaux et couvrir autant de passages de trains.

La nuit, une lanterne est assujettie au signal, et cette lanterne est disposée de façon à ne pouvoir être allumée que lorsque le poids se trouve entièrement remonté. Tout oubli de remontage se trouve ainsi prévenu par la nécessité d'allumer la lanterne.

Les signaux destinés à arrêter tout train qui en suit un autre, à une distance moindre que le minimum de distance prescrit entre deux trains consécutifs, sont placés à l'entrée de sections ayant une longueur réglementaire d'environ 3 kilomètres. Près de chaque signal est un appareil commutateur, servant à transmettre le courant électrique qui fait déclancher le loquet d'arrêt du disque.

Ces appareils commutateurs sont ou bien placés sous l'un des rails, ou bien à côté de la voie.

L'appareil commutateur à placer sous le rail est formé, ainsi qu'on le voit fig. 10, pl. XXXIX, d'un tampon creux en caoutchouc garni de métal à sa partie supérieure et à sa partie inférieure. Le fil électrique partant de la batterie est en communication avec une tige métallique placée dans l'axe du creux. Sur cette tige se trouve, fixée à friction, une rondelle métallique CD portant deux pointes en platine. Une douille métallique, rattachée à la plaque supérieure de l'appareil, pénètre dans le creux du caoutchouc; elle porte également une rondelle métallique AB isolée de la tige qu'elle entoure, mais pouvant, lorsque le caoutchouc est comprimé, venir s'appuyer sur les deux pointes en platine.

Dès que la pression cesse d'agir sur le tampon en caoutchouc, la rondelle AB remonte, et la communication se trouve interrompue.

Les pointes CD sont toujours ramenées à leur position normale, au moyen du disque en caoutchouc que porte la douille rattachée à la plaque supérieure.

Cet appareil se place, ainsi qu'on le voit, pl. XXXIX, fig. 11, entre deux traverses, au-dessous du rail et en contact avec lui.

Les appareils à commutateurs placés à côté de la voie sont beaucoup plus simples que ceux logés sous le rail ; par contre, ils sont plus exposés à être dérangés ou mis en action par des causes étrangères. C'est alors un bras de levier qui avance assez sur la voie pour que la locomotive l'atteigne et le déplace.

Le disque du signal occupe toujours la position commandant l'arrêt, jusqu'à ce que le train qu'il couvre soit arrivé à l'appareil commutateur qui précède le signal suivant. L'appareil, tout en donnant au signal près duquel il se trouve la position qui commande l'arrêt, fait faire un quart de tour au signal antérieur, afin qu'il donne passage au train suivant.

Des dispositions analogues à celles que nous venons de décrire, et qui ont pour but de diviser la voie en sections « bloquées », se retrouvent, même sur les chemins de fer qui n'ont pas introduit le *Block system* sur toute leur longueur, à certains points exigeant une protection toute spéciale : par exemple, dans les tunnels où l'on ne veut admettre qu'un train à la fois, sur les tronçons de simple voie intercalés dans une ligne à double voie, et aux traversées de voies.

Le signal Rousseau est aussi employé pour protéger des ponts tournants ou des changements de voie. Dans ces cas, le signal est à l'arrêt tant que le pont tournant ou le changement de voie n'occupe pas la position correspondant à la continuité de la voie principale.

M. Rousseau met tous les signaux en communication avec un indicateur qui est placé dans le bureau du chef de la gare la plus voisine. Cet indicateur reproduit au moyen de petits disques la position des signaux sur la voie.

Le chemin de fer de New-York-Harlem se sert depuis plusieurs années de signaux Rousseau. Il a commencé par en établir vingt-six avec seize indicateurs dans ses stations. Une batterie de trente éléments, dont l'entretien annuel ne coûte que 500 francs, a suffi pour tous ces appareils.

L'établissement *The Rousseau absolute safety Railway signal*

Company, à New-York, fournissait en 1876 ses appareils aux prix suivants, savoir :

Un signal..	750 fr.
Un appareil de contact (sous [illegible]... ...	2[illegible]
Un indicateur pour bureaux..........................	375

De plus il exigeait, à titre de prime annuelle, pour le brevet, 50 francs par signal. Cette prime n'était pas due pour la première année d'emploi.

C'est surtout aux réductions qu'il permet de réaliser sur le personnel des gardes que ce système de signaux doit son adoption sur les chemins de fer américains, où l'on cherche toujours à réduire le nombre des gardes en raison de leurs salaires élevés.

Signaux Saxby et Farmer. — Les signaux depuis longtemps introduits sur les chemins de fer anglais par MM. Saxby et Farmer, dont l'emploi s'est ensuite répandu dans le reste de l'Europe, se rencontrent également en Amérique.

On sait que MM. Saxby et Farmer réunissent tous les leviers de manœuvre des signaux et des changements de voie dans un seul appareil, qui ne permet le déplacement d'un levier quelconque que lorsque tous les autres signaux et changements occupent des positions compatibles avec celles que l'on peut faire prendre par ce levier au signal ou au changement qu'il commande.

Ces appareils qui, par la solidarité qu'ils établissent entre tous les signaux et changements de voie d'une station, préviennent toute erreur de manœuvre pouvant provoquer des collisions, sont suffisamment connus en Europe pour que nous puissions nous dispenser d'en faire la description.

Nous nous contenterons, pour le même motif, de signaler l'introduction des appareils du même genre établis par MM. John Brierley et Sons de Londres.

Signaux pour croisements de voie. — Ainsi que nous l'avons déjà dit, les croisements à niveau de deux chemins de fer ne sont pas rares en Amérique. Le signal le plus simple employé en pareil cas consiste en deux panneaux qui se coupent à angle droit, et dont les faces sont alternativement rouges et blanches, de telle sorte que si les faces rouges se trouvent être visibles de l'une de ces lignes, les faces blanches le sont de l'autre ligne.

Le signal que le chemin de fer de Philadelphia-Reading a placé

à son intersection avec le chemin de fer de Trenton est en outre disposé de manière à permettre d'arrêter les trains sur les deux lignes. Pour cela, une maisonnette semblable à celles dont les dispositions sont reproduites fig. 5 et 6 de la pl. XXXIX, et servant à supporter les signaux sémaphoriques, est surmontée d'un tambour à quatre ouvertures donnant sur les quatre voies qui se croisent. Dans l'intérieur de ce premier tambour, se meut un second tambour qui, sauf deux panneaux blancs embrassant chacun un huitième de la circonférence et se trouvant en face l'un de l'autre, est peint entièrement en rouge. De cette façon, on peut ou bien donner le signal blanc, c'est-à-dire de voie libre, à l'une des lignes en fermant l'autre, ou bien arrêter les trains sur les deux lignes; mais on ne peut jamais donner le signal de voie libre aux deux lignes qui se croisent.

Pour le service de nuit, des lampes à verres rouges et blancs sont fixées contre les panneaux de même couleur.

Depuis quelques années, les ingénieurs américains se préoccupent tout particulièrement de l'étude des signaux, à la manœuvre desquels ils cherchent à appliquer l'air comprimé aussi bien que l'électricité.

Les applications de ces nouveaux appareils étant encore récentes et peu nombreuses, nous croyons devoir nous borner à cette simple indication[1].

---

1. Des signaux à air comprimé ont été essayés sur le Pennsylvania R. R. à l'occasion du service spécial organisé sur cette ligne pour l'Exposition de 1876.

QUATRIÈME PARTIE

CHAPITRE XIII

PRIX DE REVIENT

Il est peu de pays où le coût d'établissement des chemins de fer ait plus varié, non seulement avec les régions traversées par les lignes, mais encore avec l'époque de leur construction, que l'Amérique du Nord. Outre que les immenses régions sur lesquelles ils s'étendent présentent entre elles de très grandes différences, aussi bien sous le rapport topographique qu'au point de vue des ressources en matériaux, en travailleurs et en capitaux, l'immigration, la guerre civile et les crises commerciales sont venues à diverses reprises modifier profondément les conditions économiques de l'établissement des lignes de chemins de fer. De plus, les chemins de fer étant livrés à l'exploitation dans des situations très diverses, et ne se complétant que progressivement par des travaux dont il est d'usage en Europe de faire précéder l'ouverture des lignes, la comparaison des différentes lignes, soit entre elles, soit avec les lignes européennes, au point de vue de la dépense de premier établissement devient très difficile, et risque de conduire à des appréciations tout à fait inexactes, si l'on ne tient pas compte de leurs différents degrés d'achèvement.

Les divers éléments qui entrent dans le prix de revient de la construction font tout d'abord ressortir des variations notables.

Matériaux.

Bois. — Le bois, qui, ainsi que nous l'avons vu plus haut, joue un si grand rôle dans la construction des chemins de fer, est fort iné-

galement répandu sur le territoire des États-Unis. La rive droite du Mississipi en est à peu près totalement dépourvue. A l'est de ce fleuve, les forêts qui couvraient à l'origine, sur de vastes étendues, les deux versants des Alleghanies, ont en grande partie disparu; il n'en existe plus d'un peu importantes que dans les États du Sud, où le défrichement a fait moins de progrès. C'est surtout des forêts du Canada, et des régions qui avoisinent les grands Lacs, que les États du Nord tirent les bois nécessaires pour l'établissement des nouvelles lignes, tandis que les États occupant la rive droite du cours inférieur du Mississipi, comme le Texas et l'Arkansas, empruntent aux États de Louisiane, Mississipi, Alabama, Floride, ceux dont ils ont besoin.

De la plus ou moins grande proximité des forêts et des voies navigables par lesquelles se fait presque exclusivement le transport de leurs produits, dépend en général le prix des bois, qui varie en outre avec les essences. Il suffit de se reporter à ce que nous avons déjà dit à propos des traverses, pour se faire une idée de l'influence de ces diverses circonstances sur le prix des bois.

Pierre. — La pierre, employée en bien moindres quantités, et servant presque uniquement à exécuter les parties des constructions où l'on ne peut s'en passer, est loin d'être rare; mais le travail qu'exigent à la fois son extraction, sa taille et sa pose, en font réduire le plus possible l'emploi, même là où elle est abondante et de bonne qualité. Cet emploi se ramène, en définitive, à une question de main-d'œuvre beaucoup plus que de transport, les transports ne s'appliquant en général qu'à de courtes distances, tant que la voie ferrée n'est pas etablie.

Métaux. — Les fers pour rails ont été longtemps empruntés en presque totalité à l'Angleterre; on a même supprimé pendant un certain temps les droits à l'importation sur les fers étrangers pour encourager la construction de nouvelles lignes. En 1836, la tonne de rails, venant d'Angleterre, ne coûtait pas plus de 200 francs à New-York. Le prix des rails n'a fait, à partir de cette époque, que subir les oscillations du marché anglais jusqu'en 1861, époque vers laquelle des droits protecteurs très élevés (de 35 pour 100 environ) ont été établis pour favoriser l'industrie nationale. Il en est résulté une hausse considérable, à laquelle n'a pas peu contribué la multiplication des lignes nouvelles, aux besoins desquelles l'industrie métallurgique nationale, malgré son énorme développement, ne par-

venait pas à suffire. Cette hausse a atteint son maximum en 1872, où le prix des rails en fer s'est élevé jusqu'à 380 francs la tonne ; à partir de cette année, le ralentissement des affaires, et la concurrence de l'acier, de plus en plus employé pour les rails, ont fait considérablement baisser le prix des rails en fer qui, au commencement de 1879, ne se vendaient plus que de 180 à 190 francs la tonne.

Quant aux rails en acier, dont la fabrication a fait dans ces dernières années de très grands progrès, le prix n'en dépasse pas aujourd'hui 220 francs la tonne à l'usine[1]. Ce prix, au début de la fabrication en 1867, atteignait 595 francs.

Main-d'œuvre.

C'est certainement sur le prix de la main-d'œuvre qu'ont porté les plus grandes variations.

On sait que, dans les États du Sud, on a employé des esclaves à la construction des premiers chemins de fer, et qu'en Californie l'immigration chinoise a peuplé les chantiers du Central Pacific et de la plupart des autres lignes. Bien que le travail fourni à vil prix par l'une et l'autre catégorie de travailleurs ne valût pas celui des ouvriers libres de race blanche, il a permis souvent d'exécuter des ouvrages de terrassement et de pose de voie avec économie, et dans des conditions qui eussent rendu trop pénible le travail de ces derniers ouvriers, principalement dans les terrains marécageux des États du Sud. Dans ces États, la concurrence des ouvriers nègres, se contentant d'un faible salaire, n'a pas cessé de maintenir, même depuis la guerre de sécession, les salaires à un taux relativement bas pour toutes les professions que la race noire est susceptible d'exercer.

On peut dire néanmoins que partout les salaires des travailleurs de race blanche, parmi lesquels se sont toujours recrutés les ouvriers d'élite et les chefs de chantier, par suite de l'impulsion donnée aux travaux de chemins de fer et de l'accroissement continu de la prospérité du pays, à peine interrompu par la guerre civile, ont été presque constamment en hausse, jusqu'au moment où la dernière crise financière est venue ralentir les travaux. Ce ralentissement, et la baisse de salaires qui en a été la conséquence, se sont produits

1. Tel est le prix donné par le *Rail Road Gazette* du 13 juin 1879.

progressivement et n'ont pas atteint également toutes les parties du territoire, ce qui s'explique par l'isolement relatif de certains États résultant de la distance et de l'absence de voies de communication.

La baisse a été forte surtout dans le voisinage des grands centres de population, encombrés d'une population flottante qui voyait peu à peu se fermer les débouchés sur lesquels elle avait compté, et elle a été, comme toujours, beaucoup moins sensible sur les salaires des ouvriers spéciaux que sur ceux des terrassiers et des simples manœuvres.

Une enquête, ouverte en 1874 par la Société américaine des ingénieurs civils, a permis de constater que, sur un nombre total de soixante-trois chantiers répartis sur la surface du Canada et des États-Unis, les salaires avaient déjà baissé à cette époque de 16,60 pour 100 en moyenne pour quarante et un de ces chantiers, tandis que pour les vingt-deux autres, les prix s'étaient maintenus au même taux qu'avant la crise. La persistance de la crise a eu pour effet de faire descendre presque partout les salaires à un niveau très bas.

Le tableau ci-après donne, pour un certain nombre de professions, les tarifs des salaires dans quelques États de l'Est et du Centre, en 1873 et 1876.

NOMS DES PROFESSIONS.	PRIX DE LA JOURNÉE DE DIX HEURES.	
	EN 1873.	EN 1876.
Terrassiers et manœuvres........ ...	8 fr. 75	4 fr. 60
Maçons et tailleurs de pierre.......	15 à 25 fr.	7 fr. 80 à 12 fr.
Charpentiers.....................	15 à 22 fr. 50	6 fr. 55 à 10 fr.
Forgerons........................	15 à 20 fr.	7 fr. 80 à 11 fr.

On voit que les salaires ont en moyenne diminué de moitié pour l'ensemble des professions.

En Californie, les effets de la crise se sont fait beaucoup moins sentir, et l'on payait encore aux travaux du Southern Pacific, exécutés de 1875 à 1877, les charpentiers de 15 à 20 francs par jour, et les mineurs 15 francs, non compris la nourriture. Les Chinois, employés comme manœuvres et terrassiers, ne recevaient que 130 francs par mois, et se nourrissaient.

Il suit de là que les mêmes natures d'ouvrages, avant et après la crise, sont revenues à des prix très différents.

Ainsi, sur le chemin de fer de Louisville, Cincinnati et Lexington (Kentucky), on payait, en 1873, par mètre cube de déblai transporté à 60 mètres de distance :

Dans la terre légère	1 fr. 46
Dans la roche désagrégée	3 fr. 33
Dans la roche dure exploitée à la mine	6 fr. 66 à 7 fr.
En tunnel dans la même roche	21 fr.

En 1876, sur le chemin de fer du Cincinnati-Southern, traversant à peu près les mêmes contrées que le précédent, on a payé en moyenne par mètre cube de déblai transporté jusqu'à 150 mètres :

Terre ordinaire	0 fr. 65
Tuf (*hard pan*)	3 fr. 10
Roche désagrégée	2 fr. 85
Roche extraite à la poudre	5 fr.
Roche dure extraite en tunnel	12 à 40 fr.

Les transports au delà de 150 mètres sur la même ligne se sont payés à raison d'un cent par centaine de pieds en sus par yard cube, soit de $0^{fr},22$ par centaine de mètres et par mètre cube.

Le prix de la maçonnerie de moellons à sec était sur la ligne du Cincinnati-Southern de 40 francs par mètre cube, et celui de la maçonnerie à assises réglées avec mortier de ciment, de 57 à 61 francs.

Intérêt des capitaux.

Le taux de l'intérêt auquel se sont négociées les obligations de la plupart des lignes, qui représente le loyer des capitaux engagés dans les constructions de chemins de fer, a oscillé généralement entre 6 et 8 pour 100, d'après les comptes officiels des compagnies. Dans les États de l'Est, principalement dans la Nouvelle-Angleterre et une partie de l'État de New-York, où les capitaux, relativement abondants, étaient, eu égard à la prospérité déjà ancienne du pays, sûrs d'une rémunération, le taux a été fréquemment de 6 pour 100; pour les lignes construites dans les États de l'Ouest et en Californie, dont un grand nombre ont été des lignes de spéculation, et ont été établies avec des capitaux tirés surtout d'Angleterre et de Hollande, l'intérêt nominal des obligations a été plus souvent de 8 et 10

pour 100; l'intérêt réel, eu égard au change au moment du placement des obligations, a été plus considérable et a pu s'élever jusqu'à 11 et 12 pour 100. Dans ces derniers temps, c'est encore sur le pied de 10 pour 100 d'intérêt qu'ont été négociées les obligations de la plupart des chemins de fer du Minnesota, du Michigan et du Wisconsin.

Le taux élevé de ces intérêts a été une lourde charge pour beaucoup de lignes; il n'a pas peu contribué à imprimer à l'exécution des travaux ce double caractère d'économie et de célérité exceptionnelles que nous avons signalé plusieurs fois.

Dépenses de premier établissement des chemins de fer.

Nous allons aborder maintenant la question du prix de revient proprement dit des chemins de fer, où nous retrouverons l'influence des divers éléments que nous venons de considérer isolément.

On peut classer tous les articles qui entrent dans la formation du prix de revient dans les chapitres suivants, qui figurent d'ailleurs dans la classification imposée par les législatures de certains États aux comptes rendus que doivent fournir les Compagnies de chemins de fer.

Indemnités de terrains et de dommages (*Land and land damages*);
Terrassements et maçonneries (*Graduation and masonry*);
Ponts (*Bridging*);
Superstructure (*Road and permanent way*);
Stations (*Stations*);
Matériel roulant (*Equipment*);
Frais généraux de construction (*Engineering, agencies*, etc.).

Indemnités de terrains et de dommages. — Les acquisitions de terrains, sauf aux abords des villes les plus anciennes et les plus peuplées, ne figurent généralement que pour un chiffre très faible dans les dépenses de premier établissement des chemins de fer. Il y a pour cela deux motifs : en premier lieu, le peu de valeur des terrains traversés, qui ne commencent le plus souvent à en acquérir que par le fait de l'ouverture des voies ferrées, en sorte que les propriétaires sont tout disposés à des sacrifices qui doivent être plus que compensés par la plus-value de la partie de leurs terrains qu'ils conservent; en second lieu, le don qui est fait souvent aux compagnies d'une partie des terrains nécessaires pour l'établisse-

ment de la voie et des stations par les localités intéressées, où s'ouvrent des souscriptions pour l'acquisition de ces terrains.

C'est ainsi que pour la ligne du Cincinnati-Southern, sur une longueur totale de 541 kilomètres, il y en a plus d'un tiers pour lesquels les terrains ont été cédés gratuitement; des souscriptions ont été ouvertes pour couvrir les frais des acquisitions de terrains sur plus de 40 kilomètres, et en outre plusieurs localités ont offert le terrain pour les stations; la seule ville de Chattanooga a fait un emprunt de 500 000 francs, spécialement affecté à ces acquisitions sur son territoire.

On estime à 4 ou 5000 francs au plus par kilomètre la dépense en indemnités de terrain et de dommage pour les nouvelles lignes ouvertes dans le Kentucky et le Tennessee. Dans l'État de New-York, il en est beaucoup pour lesquelles cet article de dépense, auquel on ajoute habituellement les frais de clôture, évalués à 3 ou 4 francs par mètre courant, n'a pas dépassé 8000 francs.

Sur la rive droite du Mississipi, le même article disparaît à peu près complètement, par suite des concessions de terres faites aux compagnies par le Gouvernement fédéral.

Terrassements et maçonnerie.— Cet article est évidemment un de ceux qui comportent le plus de variations. Si dans la région des grands lacs, dans la partie supérieure de la vallée du Mississipi, et sur presque toute la rive droite de ce fleuve, la pose de la voie sur un terrain généralement uni n'exige en général qu'un simple dressement du sol, il en est tout autrement sur les deux versants des Alleghanies et à l'ouest des Montagnes Rocheuses, où elle rencontre de nombreux accidents de terrain.

Aux travaux de terrassement proprement dits vient souvent s'ajouter une opération préparatoire d'une certaine importance, l'essartage (*grubbing*), à pratiquer à travers des forêts séculaires où il faut enlever d'énormes troncs d'arbres, dont le colon se contente le plus souvent, dans un premier défrichement, de déraser les souches, sans chercher à les arracher. L'essartage avec le dressement (*clearing*) n'est pas compté pour moins de 500 à 600 francs par kilomètre dans la construction des nouvelles lignes.

Dans les États de la Nouvelle-Angleterre et du Centre, il est rare que la dépense kilométrique pour terrassements ne s'élève pas à un chiffre de 20 à 30 000 francs au moins, ce qui représente un cube de 6 a 12$^{m^3}$ par mètre courant.

On trouve des prix analogues pour certains chemins de fer établis sur le versant occidental des Alleghanies.

Sur une section de l'Intercolonial du Canada, divisée, pour une longueur totale de 257^k,6, en 7 lots, dont l'exécution, en ce qui concerne les terrassements et maçonneries, a fait l'objet de soumissions à forfait, ces soumissions ont présenté de très grands écarts, ainsi qu'on peut en juger par les chiffres suivants :

NUMÉRO du LOT.	LONGUEUR en KILOMÈTRES.	MONTANT DE LA SOUMISSION EN FRANCS RAPPORTÉE AU KILOMÈTRE.	
		la plus basse.	la plus élevée.
1	32,0	27 300	109 200
2	32,0	46 000	127 900
3	38,4	37 400	121 700
4	41,6	34 400	110 200
5	41,6	41 500	121 700
6	33,6	35 500	95 000
7	33,4	43 300	130 000
Totaux et moyennes.	257,6	38 100	115 800

Nous avons vu plus haut que la construction de cette ligne avait donné lieu à des terrassements considérables et à des travaux d'art importants, qui expliquent ces chiffres relativement élevés.

Sur le Cincinnati-Southern R.R., établi dans des conditions encore plus difficiles, et dont les travaux ont été adjugés sur séries de prix, les 532 kilomètres construits à la fin de 1877 avaient coûté pour terrassements seulement, ressortant à 37 mètres cubes environ par mètre courant, 39 500 000 francs, soit par kilomètre à 75 000 francs, et par mètre cube à 2 francs.

Il avait été exécuté en outre 360 000^{m3} de maçonnerie, au prix moyen de 27 francs par mètre cube, donnant pour cet article une dépense de 18 400 francs par kilomètre.

Ponts. — Cet article, qui, dans les comptes rendus des compagnies, ne comprend ordinairement que les ouvrages en bois ou en métal, pour les lignes d'une grande longueur et parvenues à un certain état d'achèvement atteint souvent un chiffre assez élevé

par kilomètre, pour un double motif : d'abord à cause du nombre et de l'importance des cours d'eau traversés, en second lieu, par suite du rôle spécial que remplissent souvent ces constructions en se substituant aux grands remblais.

Les ponts sur les grands fleuves ont été d'abord ajournés par les petites compagnies qui se sont formées pour l'exécution des premiers tronçons de chemins de fer, et ce n'est le plus souvent qu'à partir de leur fusion en une seule compagnie que leur construction a été entreprise. D'autres fois, les grands ponts ont été construits par un syndicat de compagnies demeurées distinctes, ainsi que nous l'avons vu à Saint-Louis. On aura une idée des frais de construction de ces ouvrages par les chiffres suivants :

Ponts de Benwood et de Parkersburg, sur l'Ohio, ensemble	11 912 000 fr.
Pont de Louisville, sur l'Ohio	8 250 000 »
Pont du Cincinnati-Southern, sur l'Ohio	4 000 000 »
Pont d'Omaha, sur le Missouri	14 332 000 »
Pont de Saint-Charles, sur le Missouri	9 000 000 »
Pont de Burlington, sur le Mississipi	6 135 000 »
Pont de Saint-Louis, sur le Mississipi	33 000 000 »
Pont Victoria, sur le Saint-Laurent, à Montréal	31 000 000 »

Une section du chemin de fer *United Rail-Roads of New-Jersey*, exploité par la Pennsylvania C^{y}, entre New-York et Philadelphie, comprenant seulement 55 kilomètres, n'a pas coûté moins de 36 705 000 francs, soit 675 000 francs environ par kilomètre, par suite de l'établissement de trois grands ponts franchissant des rivières navigables.

Les longues estacades au moyen desquelles certaines lignes traversent les estuaires des grands fleuves ou des régions marécageuses, comme celles que l'on rencontre dans les États du Sud, ont également contribué à accroître le coût kilométrique de certaines lignes. Dans les pays où ces constructions n'ont qu'une faible importance, comme les États de la Nouvelle-Angleterre, l'article « ponts » ne figure que pour une somme de 5000 à 10 000 francs par kilomètre sur la plupart des lignes.

Sur le Cincinnati-Southern R.R. le même article a atteint la somme de 22 700 francs par kilomètre, ce qu'expliquent suffisamment le développement et l'importance des ouvrages d'art de cette ligne.

Sur l'Intercolonial R^{y}, où la multiplication des ouvrages en maçon-

nerie a réduit notablement le nombre des ouvrages métalliques, ces derniers ne figurent que pour un chiffre de 8300 francs par kilomètre. On en avait primitivement évalué la dépense à 6 467 000 francs en totalité, en les supposant remplacés par des constructions en bois, et ils ne sont revenus en réalité qu'à 6 137 000 francs.

Superstructure. — La superstructure, comprenant la fourniture et la pose des rails, des traverses et des accessoires de la voie, présente tout naturellement des oscillations moins considérables au point de vue de la dépense, que les articles précédents. Les variations de prix des fers et des bois, d'une part, le développement des voies de garage, d'autre part, sont les principales causes de ces oscillations.

Pour ce qui est de la voie courante, l'évaluation ci-après, présentée par M. Bouscaren, pour le Cincinnati-Southern, donne un aperçu de la dépense kilométrique pour la voie unique, établie avec rails en fer.

Rails : 60 tonnes à 190 fr.	11 400 fr.
Traverses : 1640 à 2 fr.	3 280 »
Crampons : 1680 kilogr. à 225 fr. la tonne.	382 » 50
Éclisses : 220 à 6 fr. 25	1 375 »
Pose, y compris distribution du matériel, faite à l'aide de deux trains comprenant chacun une locomotive et vingt wagons plats.	1 550 »
Total	17 987 fr. 50

Le ballast n'est pas compris dans ce chiffre : on comptait que, pour une couche de ballast de $0^{m},13$ d'épaisseur, correspondant à $0^{m^3},90$ par mètre courant, la dépense, évaluée à raison de $5^{fr},20$ par mètre cube de ballast, serait de 4680 francs, ce qui porterait la dépense totale à 23 000 francs par kilomètre en nombres ronds.

La substitution de l'acier au fer pour les rails sur une partie de cette ligne n'a d'ailleurs entraîné qu'une augmentation de dépense insignifiante. Cette augmentation n'a été que de 230 francs environ par kilomètre, avec un rail de $26^{k},27$ en acier mis à la place du rail de $29^{k},75$ en fer, le prix de la tonne de rails en acier s'étant abaissé dans ces derniers temps jusqu'à 220 francs.

Au moment de la plus grande activité de la construction des chemins de fer, où nous avons vu précédemment que le prix de la tonne de rails était environ le double du prix actuel, le prix du ki-

lomètre de voie unique a pu s'élever jusqu'à 30 000 francs environ.

Pour avoir maintenant le prix moyen de la superstructure sur les diverses lignes, il y aurait lieu de tenir compte du développement des voies, sous forme de deuxième voie et de voies de garage, et des accessoires de la voie. De la proportion extrêmement variable de ces voies additionnelles, qui mesure en quelque sorte l'importance du trafic sur chaque ligne, dépend donc essentiellement le prix de la superstructure. Beaucoup de compagnies, sur les lignes nouvelles, ne dépassent pas, pour ces voies supplémentaires, la proportion d'un dixième de la voie principale au début de l'exploitation, pour l'étendre ensuite, au fur et à mesure de ses besoins, à un cinquième et un tiers. Il en est qui réduisent en outre la dépense de la superstructure en employant pour les voies de garage des rails de seconde main, mis au rebut par d'autres compagnies. L'emploi de rails plus légers sert souvent aussi à réaliser une certaine économie sur la superstructure, dont le prix de revient par kilomètre de ligne a en général oscillé, sur la plupart des lignes à voie unique, entre 25 000 et 35 000 francs dans ces dernières années.

Stations. — Les stations et leurs dépendances sont, ainsi que l'on a pu en juger déjà, ce qu'il y a de plus élastique dans la construction des chemins de fer en Amérique, où elles sont le plus souvent fort inégalement espacées et parfois réduites à l'état rudimentaire. Les exigences du service du matériel roulant, beaucoup plus que la sollicitude des compagnies pour le bien-être des voyageurs et la conservation des marchandises, en déterminent le plus souvent l'importance. Depuis le simple abri en bois, ressemblant plus ou moins au *log-house* du colon, jusqu'à la gare monumentale, comme on en rencontre à Boston, New-York, Philadelphie, Washington, Chicago, et dont la dépense peut atteindre plusieurs millions de francs, on parcourt tous les degrés de l'échelle.

Dans les États du Centre et du Nord, le chiffre de dépense accusé pour cet article varie en général par kilomètre entre 5000 et 40 000 francs. C'est dans le Massachusetts, auquel se rapporte ce dernier chiffre, que les installations des stations ont occasionné le plus de dépenses, ce qui s'explique par la densité plus grande de la population, dont les habitudes se rapprochent de celles des populations européennes, et par la faible distance des stations qui en est la conséquence.

Pour l'ensemble des lignes de l'État de Massachusetts, la moyenne

distance entre deux stations consécutives n'est que de $3^k,70$, tandis qu'elle est de $4^k,30$ en Pennsylvanie, et de $6^k,00$ dans l'Illinois.

Matériel roulant. — Quant à l'importance kilométrique du matériel roulant, elle est encore plus variable, attendu qu'elle dépend non seulement du développement du trafic, mais encore de sa nature et des entreprises industrielles multiples que les compagnies de chemins de fer associent d'une manière plus ou moins directe à leur exploitation. Si, pour certaines lignes à leur début, où l'on réduit le matériel au minimum, la dépense kilométrique pour matériel roulant s'abaisse à 5000 et 6000 francs et même au-dessous, elle peut atteindre dans d'autres cas près de 100 000 francs.

Sur le chemin de fer de Chicago à Paducah, par exemple, ouvert en 1874 sur 251 kilomètres, et exploité jusqu'en 1876 avec 6 locomotives, 8 wagons de voyageurs et 204 wagons de marchandises, il n'avait été dépensé encore que 5100 francs par kilomètre pour le matériel roulant. Sur celui d'Utica, Ithaca et Elmira, ouvert sur 116 kilomètres en 1875 dans l'État de New-York, on ne comptait en 1876 que 3980 francs pour la dépense de matériel roulant par kilomètre.

D'autre part, sur les lignes industrielles faisant le transport des charbons en Pennsylvanie, comme le Philadelphia-Reading et le Delaware, Lackawanna et Western, où l'on compte jusqu'à 15 000 et 19 000 wagons, représentant avec les locomotives des valeurs de 29 et 45 millions de francs, cet article de dépense figure par kilomètre exploité pour 85 000 et 95 000 francs.

Le Central of New-Jersey, qui exploite 550 kilomètres de voies ferrées, indépendamment des canaux de la Delaware et du Lehigh qu'il tient à bail, a un matériel de 46 millions, soit de 84 000 francs par kilomètre.

Le New-York-Central et Hudson River R.R. a, pour un réseau de 970 kilomètres, un matériel de 85 millions, soit de 87 600 francs par kilomètre.

Sur l'ensemble du réseau Pennsylvanien, qui a coûté en moyenne 240 000 francs par kilomètre, on comptait en 1873, d'après Trautwine :

1 station tous les 11 kilomètres;
1 alimentation d'eau et de combustible par $14^k,4$;
1 rotonde à locomotives tous les 32 kilomètres;
1 locomotive pour $6^k,4$ de ligne exploitée;

1 wagon de voyageurs par $12^{k},8$;
1 wagon de bagages par 29 kilomètres;
1 wagon de marchandises pour $0^{k},625$ de voie;
1 wagon à charbon pour $0^{k},30$.

Le matériel roulant était évalué à 83 740 000 francs pour l'ensemble du réseau exploité, comprenant 1461 kilomètres, soit à 57 300 francs par kilomètre.

Comme les compagnies prennent souvent à bail l'exploitation de lignes en dehors de leurs réseaux propres, et qu'il existe, par contre, des compagnies de transport faisant circuler leur matériel sur les chemins de fer sans en exploiter elles-mêmes, on conçoit que l'importance du matériel roulant sur une ligne donnée est souvent loin d'être en rapport avec l'importance des transports sur cette ligne.

Frais généraux. — Il serait extrêmement difficile de donner des chiffres, même à titre de moyennes, pour les frais généraux de construction et le service des obligations pendant la période de construction. On peut dire seulement qu'en laissant même de côté les péripéties diverses et parfois les malversations par lesquelles ont passé un grand nombre de lignes, ces frais sont généralement plus élevés qu'en Europe, bien qu'on puisse citer certaines lignes pour lesquelles ces frais n'ont pas dépassé de 3 à 5 pour 100 du capital de premier établissement. Ce cas s'est présenté notamment pour certaines lignes, construites par des entrepreneurs qui fournissaient la plus grande partie de ce capital, et qui exploitaient eux-mêmes pendant un certain temps la ligne une fois ouverte pour rentrer dans une partie de leurs avances.

Dépense kilométrique totale de construction. — On voit, par l'examen que nous venons de faire des divers articles entrant dans le prix de revient kilométrique des chemins de fer nord-américains, qu'il serait tout à fait impossible de présenter pour leur ensemble une évaluation correspondant à des conditions moyennes, même en ne considérant que les chemins de fer construits dans ces dix ou quinze dernières années, où les types adoptés pour l'établissement de la voie ont peu varié. A plus forte raison, doit-on trouver des différences considérables de prix de revient kilométrique, quand on remonte jusqu'à la première période de construction des chemins de fer, établis le plus souvent au début sur des terrains faciles, dans des conditions à peu près analogues à celles des tram-

ways, avec des rails consistant parfois en simples bandes de fer, d'un poids par mètre courant, qui, après avoir été tout d'abord de 7 kilogrammes, n'a pas dépassé pendant un certain temps une vingtaine de kilogrammes, pour recevoir des locomotives pesant seulement de 8 à 12 tonnes[1].

Une publication de J. Weale (Londres, 1843), donne, pour un certain nombre de lignes construites avant cette époque, des chiffres que nous avons placés en regard des chiffres accusés en 1875 pour les lignes plus étendues dont elles font aujourd'hui partie :

Nos D'ORDRE.	DÉSIGNATION des LIGNES PRIMITIVES.	des longueurs.	des LIGNES ACTUELLES.	PRIX DE REVIENT PAR KILOMÈTRE. En 1843.	En 1875.
1	Boston-Worcester......	71	Boston et Albany.	119 300	281 000
2	Western of Massachusetts................	251		113 150	
3	Boston-Lowell.........	43	Même désignation.	186 000	283 500
4	Utica-Syracuse	85	New-York Central.	55 800	480 000
5	Auburn-Rochester	124		44 950	
6	Camden-Amboy........	98	Réseau pennsylvanien.	63 550	373 000
7	Columbia-Philadelphia.	119		161 000	
8	Alleghany-Portage.....	57		160 000	
9	Richmond - Fredericksburg................	98	Richmond, Fredericksburg et Potomac.	55 800	100 000
10	South Carolina........	220	Même désignation.	40 300	122 000
11	Central of Georgia.....	473	Id.	37 200	79 300
12	Alabama-Florida.......	95	Mobile-Montgomery.	49 600	61 700

Sans attacher à la comparaison des chiffres donnés pour 1843 et

1. Sur le Baltimore et Ohio R.R., les premiers rails, posés en 1830, pesaient 7 kilogrammes ; ils étaient supportés par des longrines en bois de $0^m,15$ sur $0^m,15$: la première locomotive mise en exploitation pesait $6^t,50$.

En 1836, le poids des locomotives fut porte à 9 tonnes ; il n'était encore que de 20 tonnes en 1844.

En 1838, la voie fut renouvelée partiellement en rails à patin de 26 kilogrammes, et continuée au delà de Harper's Ferry avec les mêmes rails : la réfection entière de la voie avec ces rails n'eut lieu qu'à partir de 1846. (W. W. Evans.)

1875 plus de valeur qu'elle n'en comporte, vu l'importance des transformations qu'ont subies dans l'intervalle les lignes dont il s'agit, par suite tant de leur extension que de la multiplication et de la réfection de leurs voies de service, ainsi que des installations nouvelles de toute sorte rendues nécessaires par l'accroissement de leur trafic, on peut dire qu'il n'est guère de ligne remontant à la première période de construction des chemins de fer dont la dépense de premier établissement n'ait dû être doublée pour répondre aux exigences actuelles de l'exploitation, si faible que soit resté le trafic, comme c'est le cas pour beaucoup de lignes du Sud.

On aura une idée de la part qui revient aux divers éléments que nous avons précédemment distingués dans le coût kilométrique des chemins de fer, pris dans leur état actuel, par le premier des tableaux ci-après qui indique la décomposition des dépenses pour un certain nombre de lignes des États de Massachusetts et de New-York, dont les législatures exigent des compagnies, depuis un certain nombre d'années, des comptes détaillés de leur dépenses.

Cette décomposition, qui est donnée à trois époques différentes pour la plus importante de ces lignes, le New-York-Central et Hudson-River R.R., permet de suivre la progression de chaque article de dépense de cette ligne.

Dans la première période, de 1857 à 1868, le New-York-Central, encore indépendant du Hudson-River R. R., reste sensiblement stationnaire; le Hudson R. R., au contraire, augmente notablement le développement de ses voies et de ses stations: il double en outre son matériel roulant.

Dans la deuxième, de 1868 à 1875, c'est surtout l'établissement d'une voie quadruple sur le New-York-Central, avec l'accroissement du matériel roulant, qui vient augmenter le coût kilométrique de la ligne, dont les chiffres, donnés p. 72, permettent d'apprécier l'accroissement de trafic.

On remarquera les prix relativement élevés payés pour les terrains de la plupart des lignes du Massachusetts, beaucoup plus peuplé que les autres États, et en particulier la forte dépense kilométrique pour stations accusée sur la ligne de Boston et Lowell, due à la reconstruction sur de vastes proportions des gares de ces deux villes.

Les deux lignes de Geneva, Ithaca, Athens, et d'Utica, Ithaca, Elmira, établies principalement dans le but d'ouvrir aux charbons

bitumineux de la région Nord-Ouest de la Pennsylvanie des débouchés vers la partie centrale de l'État de New-York, en concurrence avec les voies navigables et avec d'autres lignes de chemins de fer, sont tracées dans des conditions relativement faciles; on peut les considérer comme des types des chemins de fer tels qu'on les installe aujourd'hui pour un commencement d'exploitation.

Le New-York et Oswego R. R., construit dans des conditions plus difficiles et avec moins d'économie, est destiné à disputer au New-York-Central et Hudson-River R. R. les transports du grand entrepôt d'Oswego, sur le lac Ontario, vers New-York. Cette ligne est tombée en faillite, ainsi que celle de Geneva, Ithaca et Athens.

Un dernier tableau donne par État le prix de revient kilométrique des lignes construites, avec l'indication de leurs longueurs de voies accessoires dont le rapport à la longueur de la voie principale mesure en général, ainsi que nous en avons déjà fait la remarque, l'importance du trafic sur ces chemins de fer. Ce tableau est extrait du *Poor's Manual* pour 1876. La colonne d'observations contient des renseignements spéciaux sur les principales lignes de chaque État.

DÉCOMPOSITION DE LA DÉPENSE KILOMÉTRIQUE POUR UN CERTAIN NOMBRE DE LIGNES DES ÉTATS DE MASSACHUSETTS ET DE NEW-YORK.

INDICATION DES LIGNES.	LONGUEUR des lignes.	LONGUEUR des voies accessoires.	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE EN							
			Terrains.	Terrassements.	Ponts.	Superstructure.	Stations.	Matériel roulant.	Frais généraux	TOTAL par kilomèt.
État de Massachusetts.										
Boston et Providence	100,7	35,4	25 054	38 750	5 542	48 387	366 152	9 665	35 250	199 263
Boston et Lowell	74,0	33,0	56 540	41 580	20 330	34 440	148 250	14 750	5 050	320 940
Boston et Maine	203,0	114,0	59 841	65 810	22 890	46 740	26 290	35 410	10 993	267 974
Old Colony (Boston-Newport)	426,0	153,0	22 290	27 299	8 384	27 960	17 140	13 950	10 470	127 493
Boston et Albany	402,0	554,0	65 700	80 150	14 260	73 730	52 390	43 489	20 900	350 610
État de New-York.										
New-York Central (en 1857)	718,0	500,0	27 380	47 190	5 640	70 725	13 250	36 010	4 202	204 397
Hudson River (en 1857)	232,0	171,0	19 180	113 910	5 688	48 480	16 042	25 590	15 330	244 180
New-York Central (en 1868)	746,0	753,0	24 619	45 420	5 750	71 320	19 840	38 102	4 040	209 091
Hudson River (en 1868)	232,0	275,0	20 590	129 870	7 753	64 482	86 970	54 240	49 570	413 475
New-York Central et Hudson River (en 1875)	970,0	2098,0	60 220	99 720	12 870	147 230	58 860	87 630	15 460	481 990
Rome, Waterton et Ogdensburg (ouverte de 1852 à 1857)	305,0	31,0	4 022	21 880	1 373	23 340	4 285	9 234	1 464	65 598
Geneva, Ithaca et Athens (1871-1875)	121,0	14,0	7 460	41 300	4 020	31 300	74 60	10 300	2 850	104 660
Utica, Ithaca et Elmira (1872-1875)	116,0	16,0	6 000	16 410	6 350	24 930	55 90	3 980	3 530	66 790
New-York et Oswego Middland (1869-1873)	400,0	72,0	13 170	104 720	4 430	49 600	68 10	33 760	4 420	216 910

DÉPENSE KILOMÉTRIQUE PAR ÉTATS.

DÉSIGNATION des ÉTATS.	LONGUEUR TOTALE des lignes en kilomètres.	LONGUEUR DES VOIES accessoires en kilomètres.	DÉPENSE TOTALE d'établissement en millions de francs.	DÉPENSE par kilomètre en francs à la fin de 1875.	OBSERVATIONS.
États de la Nouvelle-Angleterre.					
Maine	1667	180	223,3	134000	Pays accidenté. La ligne la plus coûteuse, Atlantic et Saint-Lawrence (250 kilom.), est revenue, par kilom., à 170 000 fr.; la moins coûteuse (1re division), de Portland à Ogdensburg (153 kilomètres), à 121 000 fr.
Vermont.......	1247	148	176,5	141000	Pays très accidenté. La dépense kilométrique a varié entre 108 500 fr., 2e division, Portland et Ogdensburg (137 kilom.), et 239 000 fr., Rutland (193 kilom.).
New-Hampshire.	890	193	85,5	96000	La ligne de Boston, Concord et Maine (256 kilom.), n'est revenue qu'à 76 750 fr. par kilom.
Massachusetts..	3434	1787	824,7	240000	Prix kilométrique variant pour les principales lignes entre 127 500 fr. (Old Colony, construit en partie avec une voie sur 426 kilom.), et 350 610 fr. Boston et Albany (402 kilom.), à 2 voies.
Rhode Island...	206	120	32,3	156000	La ligne la plus importante, celle de New-York, Providence et Boston, a coûté sur 100 kilomèt. 185 000 fr. le kilomètre.
Connecticut....	1724	521	279,0	162000	La ligne la plus coûteuse, celle de New-Haven et Hartford, est revenue, pour 124 kilomètres, à 346 000 fr. par kilomètre.
États du Centre.					
New-York.. ...	8824	4450	2127,0	241500	L'Érié (844 kilom.) a coûté par kilomètre 690 000 fr. Le New-York Central et Hudson R. R., comprenant 970 kilom. de ligne, avec 2080 de voies accessoires, a coûté 482 000 fr. par kilom. L'Utica, Ithaca et Elmira (116 kilomètres de longueur) 66 780 fr.

DÉSIGNATION des ÉTATS.	LONGUEUR TOTALE des lignes en kilomètres.	LONGUEUR DES VOIES accessoires en kilomètres.	DÉPENSE TOTALE d'établissement en millions de francs.	DÉPENSE par kilomètre en francs à la fin de 1875.	OBSERVATIONS.
New-Jersey	2347	1703	726,9	309 700	Les United R. R. of New-Jersey (471 kilom.) ont coûté, par kilomètre, 404 700 fr. Le Camden et Atlantic (97 kilom.) 123 000 fr.
Pennsylvanie...	8362	4616	1899,3	227 000	Long. — Dép. p. kil. Pennsylvania, avec lignes affermées. 1532 — 240 000 Philadelphia-Reading... .... 1196 — 295 400 Lehigh Valley..... 486 — 224 800 Delaware Lackawanna.......... 312 — 445 200 Philadelphia et Érié. .... 464 — 269 000 Hannover-Gettysburg (chemin de raccordement)... 48 — 48 700
Delaware......	315	30,5	24,8	78 800	
Maryland......	2244	2067	526,6	234 600	Baltimore et Ohio et embranchem[ts]. 1136 — 278 100 Northern Central.. 243 — 344 000 Maryland Delaware 87 — 86 000
États de l'Ouest.					
Ohio..........	9230	2724	1943,6	210 500	Atlantic Great Western, avec voie partielle de 1m,81... 980 — 437 500 Pittsburg, Fort Wayne, Chicago. 753 — 248 000 Lake Shore, Michigan............. 1648 — 251 100 Cleveland, Pittsburg........... 269 — 235 300 Pittsburg, Cincinnati, Saint-Louis. 309 — 307 800 Marietta, Pittsburg, Cleveland....... 165 — 105 000
Michigan	4746	824	650,0	136 710	Michigan Central.. 457 — 301 940 Chicago et Lakeshore.......... 402 — 87 630 Flint, Pere Marquette......... 455 — 95 201

DÉSIGNATION des ÉTATS.	LONGUEUR TOTALE des lignes en kilomètres.	LONGUEUR DES VOIES accessoires en kilomètres.	DÉPENSE TOTALE d'établissement en millions de francs.	DÉPENSE par kilomètre en francs, à la fin de 1875.	OBSERVATIONS.		
						Long.	Dép. p. kil.
Indiana........	6600	890	928,5	140 600	Ohio-Mississipi....	1003	158 200
					Louisville, New-Albany-Chicago....	463	74 803
					Cincinnati-Wabash.	163	77 810
Illinois........	14 573	2600	2151,0	150 800	Chicago-Burlington-Quincy......	2094	140 244
					Illinois Central...	1132	158 968
					Chicago North-Western............	1841	182 063
					Illinois Midland...	320	101 680
					Chicago Rock-Island, Pacific.....	1019	155 000
Minnesota......	2688	173	443,5	165 000	Winona Saint-Peter..............	526	95 200
					Saint-Paul-Pacific..............	323	251 000
Wisconsin.....	4393	473	50,4	115 000	Chicago-Milwankee, Saint-Paul.	2254	118 000
					Wisconsin Central.	312	113 000
					Sheboygan et Fond du Lac (ouvert en 1870).......	126	113 000
					Madison-Portage..	62,8	73 330
Missouri.......	6031	657	1169,6	193 900	Atlantic Pacific...	528	355 000
					Hannibal Saint-Joseph...........	477	245 000
					Saint-Louis, Iron-Mountain........	1117	200 000
					Missouri, Kansas, Texas..........	1267	168 330
Iowa..........	5100	660	65,8	127 100	Burlington-Cedar-Rapids..........	644	165 700
					Central of Iowa...	793	92 800
					Dubuque, South-Western.........	88	100 000
Kansas.........	3305	225	473,7	143 300	Kansas Pacific....	1083	158 700
					Atchison Topeka..	756	153 000

DÉSIGNATION des ÉTATS.	LONGUEUR TOTALE des lignes en kilomètres.	LONGUEUR DES VOIES accessoires en kilomètres.	DÉPENSE TOTALE d'établissement en millions de francs.	DÉPENSE par kilomètre en francs à la fin de 1875.	OBSERVATIONS.		
Nebraska	1115	90	128,1	114 900		Long.	Dép. p. kil.
Colorado	999	52,4	115,8	117 000	Voie étroite. Denver Pacific .... Denver Rio Grande.	 257 262	 126 300 125 500
Utah	495	38	42,0	84 800			
États du Sud.							
Virginie	2711	212	427,6	157 700	Chesapeake-Ohio.. Richmond-Danville Seaboard-Roanoke.	689 237 129	265 300 123 000 80 000
Caroline du Nord	2159	966	195,4	90 640	Wilmington-Weldon .... Carolina Central . Atlantic et Ohio...	290 389 80	56 600 134 000 47 800
Caroline du Sud.	1744	127	159,5	91 600	South-Carolina ... Savannah-Charleston .... Charlotte-Columbia-Augusta	389 167 314	122 700 68 500 81 000
Kentucky	2437	296	294,9	121 000	Louisv[lle]-Nashville Louisville-Paducah	974 372	122 100 108 600
Tennessee......	1122	92,5	118,6	105 700			
Arkansas.......	691	13	98,6	142 700			
Texas..........	2553	165	316,0	123 900	Texas Pacific..... Houston et Texas Central..........	520 818	205,000 82,600
Georgie........	3815	256	332,3	87 200	Georgia.......... Atlantic et Gulf... Atlantic et Richmond..........	373 561 426	55,700 69,000 138,000

DÉSIGNATION des ÉTATS.	LONGUEUR TOTALE des lignes en kilomètres.	LONGUEUR DES VOIES accessoires en kilomètres.	DÉPENSE TOTALE d'établissement en millions de francs.	DÉPENSE par kilomètre en francs à la fin de 1875.	OBSERVATIONS.	Long.	Dép. p. kil.
Floride.........	724	35	70,8	97 800			
Alabama.......	2886	193	327,5	113 600	Alabama-Chattanooga...........	525	110 300
					Mobile-Montgomery	288	61 700
					New-Orleans, Selma.............	34	100 000
Mississipi......	1280	110	124,9	97 500	Mobile-Ohio......	851	106 500
					Vicsburg-Meridian.	225	67 900
Louisiane......	1517	156	228,0	150 500	New-Orleans-Mobile.............	227	110 000
					New-Orleans, Saint-Louis-Chicago ...	916	177 000
États du Pacifique.							
Californie......	1122	78	264,8	236 000	Southern-Pacific..	656	194 200
Chemins du Pacifique.							
Central Pacific.	1952	193,2	713,9	367 000			
Union Pacific ..	1671	177	578,5	347 000			
Chemins de fer du Canada.							
Grand Trunk...	2215	»	514,0	231 600*	* 330,000 fr. en 1875. Ces prix sont extraits d'un rapport présenté aux Chambres pour 1867. Ces divers chemins de fer ont été ouverts de 1853 à 1859.		
Great Western..	567	»	123,9	211 000			
Northern.......	96,7	»	27,3	174 900			
Brookville-Ottawa..........	139,3	»	132,3	94 860			
London et Port Stanley......	38,6	»	5,0	133 300			
Ottawa-Prescott.	90	»	10,0	115 320			
Coburg-Peterborough Marmora.	45	»	4,5	99 510			
Érié et Ontario.	27	»	1,5	54 705			

ANNEXES

Note A (page 26)

Immigration aux États-Unis.

Le nombre total des immigrants aux États-Unis pour chacune des dix-huit dernières années est donné par le tableau suivant, emprunté aux rapports du Bureau fédéral de statistique :

ANNÉES.	NOMBRE DES IMMIGRANTS.	ANNÉES.	NOMBRE DES IMMIGRANTS.
1861	89 720	1870	356 303
1862	89 005	1871	346 938
1863	174 523	1872	437 750
1864	193 191	1873	422 545
1865	248 394	1874	260 814
1866	314 840	1875	191 231
1867	293 601	1876	157 440
1868	289 145	1877	130 526
1869	385 287	1878	153 207

Note B (page 54)

Nouvelles expériences sur la résistance des trains.

Les comptes rendus de la Société américaine des ingénieurs civils contiennent dans le numéro de février 1879 un rapport sur de nouvelles expériences faites sur la résistance des trains par MM. Ch. Payne et A. M. Wellington.

On s'est servi pour ces expériences du procédé connu sous le nom de *drop test* (épreuve par chute), consistant à abandonner les wagons sur une pente d'une inclinaison connue, et à déduire la résistance de la vitesse acquise pour une hauteur de descente déterminée. On a pu donner aux observations une très grande précision, grâce à l'emploi de l'électricité.

On a fait varier les conditions des expériences, afin d'apprécier l'influence relative du nombre, de la charge et de la section des wagons, aussi bien que de la vitesse.

Les expériences ont eu lieu sur une section de la ligne du Lake-Shore et Michigan-Southern R. R., présentant une pente de $0^{m},007$, au milieu de laquelle se trouvait intercalée une courbe de 1750 mètres de rayon : la voie, à rails en fer de 30 kilogrammes le mètre courant, était bien entretenue et balastée, sans être dans le meilleur état possible. Elle était presque entièrement en tranchée, et abritée complètement contre l'action du vent, qui a été à peu près insensible.

La vitesse était constatée en des points séparés par des distances variant de 60 à 300 mètres. Un fil télégraphique était pour cela mis en communication à chaque poste d'observation avec un commutateur mis en jeu successivement par chaque roue. Un appareil enregistreur de Morse inscrivait, sur une bande de papier se déroulant avec une vitesse de $0^{m},0125$ par seconde, le passage de chaque roue. Cette vitesse était vérifiée à l'aide de traits marqués de seconde en seconde sur la bande de papier au moyen d'un second appareil électrique où le courant était interrompu périodiquement par un pendule battant la seconde.

Les résultats de ces expériences, complétées en ce qui concerne la résistance sur les courbes par d'autres expériences faites à Altoona sur le Pennsylvania Central R. R., où il existe des courbes de 218 mètres de rayon, se résument ainsi qu'il suit :

1° La résistance peut être évaluée par tonne en alignement droit à 3 kilogrammes pour les wagons vides, à 2 kilogrammes pour les wagons chargés.

Les écarts n'ont pas excédé $0^{k},50$ pour les wagons isolés, ni de $0^{k},25$ à $0^{k},125$ pour les wagons en trains.

2° La résistance au démarrage est beaucoup plus grande, et peut s'élever à 9 kilogrammes par tonne pour les wagons chargés, et à 7 kilogrammes pour les wagons vides : elle varie considérablement. Cette résistance initiale est instantanée, et peut être surmontée par l'emploi d'une force très restreinte.

3° La résistance due à la pression de l'air contre la face extrême d'un wagon ne dépasse pas $0^{k},90$ par mètre carré à une vitesse de 16 kilomètres à l'heure.

Les deux tiers de cette résistance, occasionnée par la vitesse, sont dus aux oscillations et aux trépidations.

4° La résistance due aux courbes est beaucoup plus grande sur les 100 premiers mètres que sur le reste de la courbe : elle décroît avec la vitesse.

Cette résistance, sur une courbe d'un degré (de 1750 mètres de rayon)

dépasse $0^k,22$ par tonne à une vitesse de 20 kilomètres à l'heure, et elle diminue de moitié quand la vitesse atteint 35 kilomètres.

Sur une courbe de 8 degrés (218 mètres de rayon), la résistance dépasse $1^k,80$ à une vitesse de $14^k,50$ et elle se réduit à $1^k,50$ à une vitesse de 30 kilomètres.

5° L'attelage de plusieurs wagons ensemble (quatre à cinq) tend à diminuer la résistance de $0^k,125$ par tonne environ.

6° L'influence des divers systèmes de suspension et de graissage disparaît pour peu que la vitesse augmente.

7° La résistance, pour les trains composés en moyenne de 20 wagons chargés est approximativement donnée par la formule :

$$R = \frac{V^2}{670} + 2 \text{ kilogrammes,}$$

et pour les trains de 40 wagons vides environ, par celle-ci :

$$R = \frac{V^2}{550} + 3 \text{ kilogrammes.}$$

Ces formules n'ont toutefois été vérifiées que pour des vitesses ne dépassant pas 48 kilomètres à l'heure.

La différence trouvée entre les résistances, suivant que les wagons sont pleins ou vides, peut s'expliquer par l'influence, beaucoup plus sensible sur ces derniers : 1° de la puissance vive de rotation des roues et des essieux dont il n'est pas tenu compte ; 2° des oscillations et des trépidations; 3° de la pression de l'air.

Quant à la décroissance de la résistance dans les courbes à mesure que la vitesse croît, on peut l'attribuer à l'influence du dévers, qui est souvent calculé pour les grandes vitesses, et qui ne contribue à diminuer la résistance en courbe qu'autant que ces vitesses sont atteintes.

On remarquera que la portion de la résistance non affectée par la vitesse, déduite de la première des deux formules données ci-dessus pour les wagons chargés, est sensiblement la même que la moyenne des résistances trouvées par MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, dans le cas de trains lubrifiés à l'huile et à la graisse, savoir :

$$r = 1,65 + 0,05\,V$$
$$r = 2,30 + 0,05\,V.$$

Note C (page 225)

Calage des ponts tournants.

On peut obtenir la formule donnée en note au bas de la page 225 de la manière suivante :

34

On sait qu'une poutre droite continue de longueur $2l$, reposant sur trois appuis équidistants et chargée uniformément d'un poids p, donne lieu, sur les appuis extrêmes, à des réactions R ayant pour valeur :

$$R = \frac{3}{8} pl$$

d'où il suit que pour supprimer complètement la flèche que tend à prendre la poutre à chacune de ses extrémités par l'effet de son poids, il faut appliquer une réaction ayant cette valeur.

Si l'on n'exerce qu'une réaction ayant une valeur de

$$\frac{n-1}{n} R,$$

susceptible de supprimer la flèche dans l'hypothèse d'une charge

$$\frac{n-1}{n} p,$$

cette flèche ne sera supprimée que dans le même rapport, et réciproquement une réaction laissant subsister une fraction $\frac{1}{n}$ de la flèche aura une valeur de

$$\frac{n-1}{n} R.$$

D'autre part, une charge uniforme q, étendue à une travée seulement, développe à l'extrémité de la travée non chargée, une réaction négative

$$R' = \frac{1}{16} ql.$$

Si donc l'on veut que la réaction absolue à chaque extrémité de la poutre ne devienne jamais négative, il faudra qu'on ait :

$$R > R' \text{ ou } \frac{3}{8} \frac{n-1}{n} pl > \frac{1}{16} ql$$

d'où l'on tire :

$$n > \frac{6p}{6p-q}.$$

NOTE D (page 249).

Poids comparatifs de divers systèmes de fermes.

M. Shaler Smith, dans un mémoire intitulé *Bridge Analysis*, a fait pour une portée de 200 pieds (61 mètres) une comparaison des divers systèmes de fermes qui donne une idée de leurs avantages respectifs. Il suppose un pont destiné à supporter par mètre courant une surcharge

de 3300 kilogrammes et par longueur de panneau un poids maximum de 37 tonnes.

Il arrive, dans les deux hypothèses successives du tablier inférieur ou supérieur, aux poids suivants en supposant les différentes pièces travaillant seulement au cinquième de l'effort de rupture.

NOMS DES SYSTÈMES.	TABLIER INFÉRIEUR		TABLIER SUPÉRIEUR	
	POIDS		POIDS	
	total.	par m. courant.	total.	par m. courant.
Fink	126 tonnes.	2030 kilogr.	118 tonnes.	1930 kilogr.
Triangulaire isométrique	110 »	1803 »	119 »	1950 »
Linville	128 »	2100 »	133 »	2180 »
Bollman	163 »	2670 »	167 »	2730 »

Considérant ensuite les diverses formes au point de vue de la stabilité, de la dépense effective, du réglage et de la facilité d'adaptation à toutes les portées, le même ingénieur classe les divers systèmes ainsi qu'il suit :

NOMS DES SYSTÈMES.	STABILITÉ.	ÉCONOMIE.	RÉGLAGE.	ADAPTATION à toutes les portées.
Fink	1	2	2	2
Triangulaire	2	1	3	1
Linville	3	3	4	3
Bollman	4	4	1	4

NOTE E (page 251)

Nouveau pont projeté à New-York sur l'East-River[1].

D'après le programme du concours, le pont, élevé de 130 pieds ($39^{m},65$) au-dessus du niveau des plus hautes mers et traversant les deux bras de l'East-River avec des ouvertures de $223^{m},90$ et $188^{m},50$, devait présenter une largeur suffisante, pour le passage de deux voies de chemin de fer, deux voies charretières et deux trottoirs de $1^{m},50$.

1. Rapport de la Commission chargée d'examiner les projets du nouveau pont sur la rivière de l'Est à travers l'île de Blackwell.

Chaque travée devait supporter :

1° Sur les voies ferrées, le poids d'un train composé de 2 locomotives de 45 tonnes, occupant chacune avec son tender un longueur de $14^{m},50$, et susceptible de produire sur les $4^{m},50$ de longueur de base des roues motrices une charge de $33^{t},75$, et d'une série de wagons pesant $2^{t},25$ par mètre courant de voie ;

2° Sur les voies charretières, un poids de 375 kilogrammes par mètre carré ;

3° Sur les trottoirs, le même poids par mètre carré.

L'action maxima du vent, compatible avec la circulation sur le pont, a été évaluée par mètre carré à 110 kilogrammes, les wagons étant comptés pour une hauteur de 3 mètres ; l'action maxima absolue s'exerçant sur le pont non chargé, à 180 kilogrammes par mètre carré.

Le maximum des variations de température a été évalué à 66 degrés centigrades.

La flexion maxima des traverses ne devait pas dépasser 1/1200 de la portée, et les oscillations transversales devaient être limitées à 1/800 de la longueur du tablier.

Les efforts de tension devaient être calculés d'après les efforts de rupture, affectés d'un diviseur de sûreté de trois pour le poids mort, l'action du vent, et celle de la température, et de huit pour les charges roulantes ; le travail du fer devant ainsi varier entre les limites de 13 à 5 kilogrammes suivant les cas.

Les efforts de compression pour les pièces ayant une longueur moindre que vingt-quatre fois le plus petit rayon de gyration ne devaient pas dépasser $5^{k},60$. Au-dessus de cette longueur, ils devaient être calculés pour les pièces en fer laminé par la formule de Gordon :

$$R = \frac{28.000.000}{1 + \frac{l^2}{40.000 r^2}}$$

R étant la pression par mètre carré,

l la longueur,

r le moindre rayon de gyration, et la valeur de R devant être affectée du diviseur 3 pour le poids mort et de 6 pour le poids roulant.

Sur les onze projets présentés, quatre seulement ont été pris en considération par les juges du concours. Ceux-ci se sont d'ailleurs partagés sur le classement des meilleurs projets, tout en reconnaissant une incontestable supériorité aux projets présentés par MM. Clarke et Reeves, et par la Compagnie du Delaware Bridge dont M. Mac Donald est l'ingénieur.

La figure 17, planche VIII, donne une idée du premier de ces projets.

Les arcs, de forme lenticulaire, sont contre-butés par d'autres arcs qui les prolongent et reportent leurs poussées jusqu'au roc; ils supportent le tablier du pont au moyen de tiges verticales analogues à celles d'un pont suspendu.

Les arcs sont constitués par des colonnes creuses de 0m,75 de diamètre à la partie supérieure et par des fers plats et des cornières à la partie inférieure; ces deux parties de l'arc sont réunies par des arbalétriers constitués par des fers en U, qui y sont articulés.

Les piles, construites aussi au moyen de colonnes, sont établies de manière à supporter seulement les efforts pouvant résulter de l'inégalité de la répartition des charges, de l'action du vent, et des variations de température dans les arcs de butée; elles sont en conséquence solidement ancrées dans le roc.

Le calcul démontre que, par suite du mode de construction des arcs, les côtés inclinés des treillis intérieurs des lentilles ne seront appelés à travailler que dans le cas où la charge roulante n'occuperait qu'une portion d'une demi-travée; dans le cas d'une demi-travée complètement chargée, les arcs travaillent uniformément. On s'explique ainsi la légèreté relative de la construction, où les plus grands efforts causés par les surcharges se trouvent extrêmement limités.

Chaque demi-travée serait montée par un procédé analogue à celui qui a été employé au pont de Saint-Louis.

Dans le projet de M. Ch. Mac Donald, le tablier, ainsi que l'indique la fig. 18, pl. VIII, est porté de part et d'autre de son milieu, par trois lignes de haubans passant sur des points de suspension pris à diverses hauteurs sur des tours métalliques couronnant les piles et tenues en équilibre par d'autres haubans symétriquement placés par rapport à ces tours.

Au milieu de la portée, une ferme du système Pratt, de 60 mètres de longueur, réunit les lignes supérieures de haubans.

Ce système de construction présente pour le montage, qui offre des difficultés spéciales à cause de la nécessité de ne pas interrompre la navigation, des avantages particuliers, les fermes pouvant se monter symétriquement en porte-à-faux de proche en proche à partir des piles, jusqu'à ce que l'on atteigne la partie centrale pour laquelle on peut faire usage d'une poutre armée en bois. De plus, la disposition des haubans évite d'avoir à reporter toute la charge au sommet des tours, et dans la partie supérieure des montants verticaux de l'âme; le centre de gravité de la construction se trouve enfin abaissé notablement.

Les dépenses sont évaluées ainsi qu'il suit dans chaque projet, dans l'hypothèse de l'établissement d'une ou de deux voies :

DÉSIGNATION.	PONT DE 223m,90 POUR		PONT DE 188m,50 POUR	
	1 voie.	2 voies.	1 voie.	2 voies.
Projet Clarke............	3,059,500 fr.	—	1,185,035 fr.	—
Projet Mac Donald.........	2,809,340 »	4,117,150 fr.	2,102,750 »	3,014,230 fr.

Note F (page 254)

Influence des assemblages sur la stabilité des fermes des ponts.

Les inconvénients de la mobilité des assemblages, déjà sensibles avec les joints à articulations (*pin joints*) des barres tendues, sont encore plus sérieux avec les joints par simple contact (*butt joints*), sans rivures, adoptés d'abord d'une manière générale pour les pièces comprimées, et conservés aujourd'hui seulement par quelques ingénieurs qui les préfèrent comme assurant mieux l'uniformité de la répartition des efforts.

Il n'y aurait rien à objecter à ces deux systèmes d'assemblages, s'il ne devait se développer dans les pièces qu'ils relient d'autre action que celle de la gravité, et si l'on pouvait se contenter de considérer les forces à l'état *statique;* mais en réalité, d'autres actions extérieures, comme celles qui résultent de la pression du vent, de la force vive des trains et des trépidations occasionnées par leur passage, peuvent, non seulement changer dans un grand nombre de pièces l'intensité et parfois même le sens des efforts transmis, mais encore produire des effets *dynamiques* (flexions, déplacements, chocs), qui modifient les conditions de résistance des pièces, et qui sont beaucoup moins à craindre avec les assemblages à rivures, essentiellement rigides.

Plusieurs accidents graves, survenus dans ces dernières années, ne peuvent s'expliquer que par ces effets.

On a aussi fait ressortir, en cas de déraillement, la gravité des conséquences du choc d'un train contre les fermes établies dans le système américain : la rupture d'une pièce de l'âme peut entraîner la chute du pont, ce qui n'a pas lieu avec le treillis.

Cette objection à l'emploi du système américain perd de son importance, à mesure que se généralise l'application des précautions contre les déraillements sur les ponts, indiquées page 417.

NOTE G (page 256)

Influence de la hauteur sur le poids des fermes.

Théoriquement, la hauteur correspondant au minimum de poids d'une ferme d'une portée et d'un nombre de panneaux déterminés ne pourrait être atteinte qu'autant que le poids des semelles serait inférieur à celui de l'ensemble des pièces de l'âme. On conçoit d'ailleurs qu'on ne puisse atteindre la hauteur théorique sans compromettre la stabilité transversale de l'ouvrage, et qu'il y ait lieu, dans la fixation pratique de cette hauteur, de tenir compte du poids du contreventement dont l'importance croît avec elle.

Soit a la portée;

n le nombre de panneaux de longueur l;

h la hauteur d'une ferme à semelles parallèles;

kl la projection d'une pièce quelconque de l'âme sur l'horizontale;

M_x le moment fléchissant maximum en un point d'abcisse x;

P_x l'effort tranchant maximum au même point;

R l'effort maximum admis par mètre carré;

p le poids du mètre cube de métal.

L'expression du poids total de la ferme, en négligeant les assemblages et assimilant les efforts de compression à ceux de tension pour le calcul des sections des pièces, sera :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{p}{R} \left\{ l \Sigma \frac{M_x}{h} + \Sigma \left(h + \frac{k^2 l^2}{h} \right) P_x \right\} \\ &= \frac{p}{R} \left[\frac{a^2}{h} \left\{ \frac{\Sigma M_x}{na} + \frac{\Sigma k^2 P_x}{n^2} \right\} + h \Sigma P_x \right] \end{aligned}$$

Cette dernière expression, composée de deux termes, dont le produit est constant quand h seul varie, est maxima lorsque ces deux termes sont égaux, c'est-à-dire lorsqu'on a :

$$\frac{pa^2}{Rh} \Sigma \frac{M_x}{na} = \frac{p}{R} \left(h \Sigma P_x - \frac{a^2}{h} \Sigma \frac{k^2 P_x}{n^2} \right)$$

ce qui montre qu'il y a minimum quand le poids des semelles est égal au poids de l'âme diminué du double poids des pièces inclinées multipliées respectivement par les carrés des cosinus de leurs inclinaisons sur l'horizontale.

On déduit, d'autre part, de la deuxième expression de la valeur de Q l'équation :

$$\frac{h^2}{a^2} = \frac{\Sigma \frac{M_x}{na}}{\Sigma P_x} + \frac{1}{n^2} \frac{\Sigma k^2 P_x}{\Sigma P_x}$$

Il s'ensuit :

1° Que la hauteur correspondant au minimum de dépense diminue, quand les montants en totalité ou en partie se rapprochent de la verticale ;

2° Que lorsque tous les montants ont la même inclinaison, cette hauteur est plus grande que la projection horizontale des pièces inclinées ;

3° Que la même hauteur diminue à mesure que le nombre des divisions augmente.

On remarquera en effet que M_x est généralement d'un ordre supérieur d'une unité en n à P_x ; d'où il résulte que le premier terme du deuxième membre de la dernière équation, quand n augmente, ne tend pas à s'accroître, tandis que le deuxième diminue.

D'autre part, ΣM_x étant proportionnel à a^2 et P_n à a, le poids total, quand on fait $\frac{h}{a}$ constant, est, pour une ferme, proportionnel à a^2; d'où il serait facile de conclure que, lorsqu'il s'agit de partager une ouverture totale en plusieurs travées, la dépense minima de construction pour la totalité du pont correspond à un nombre de travées tel que le prix des fermes de chaque travée est égal au prix de construction d'une pile, la dépense du tablier étant supposée la même dans tous les cas. Cela suppose toutefois que $\frac{h}{a}$ reste constant.

Note H (page 496)

Fabrication, importation et prix des rails en fer et en acier aux États-Unis depuis l'année 1862.

Le tableau ci-après, dont les éléments ont été empruntés, en partie au rapport du secrétaire de l'*American iron and steel association* pour 1879, en partie à une communication de M. S. Wright Dunning, l'un des rédacteurs de la *Railroad Gazette*, donne les quantités de rails en fer et en acier, soit fabriqués, soit importés aux États-Unis, et leur prix sur le marché de Philadelphie depuis 1862, époque à laquelle les nouveaux tarifs d'importation ont été mis en vigueur :

ANNÉES.	NOMBRE DE TONNES DE RAILS EN FER.			PRIX moyen de la tonne en francs.	NOMBRE DE TONNES DE RAILS EN ACIER.			PRIX moyen de la tonne en francs.
	Fabriqués.	Importés.	Totaux.		Fabriqués.	Importés.	Totaux.	
1862	213 912	6 236	220 148	185	»	»	.	»
1863	275 768	1 989	277 757	265	»	»	»	»
1864	335 369	10 422	345 791	312	»	»	»	»
1865	356 292	75 038	431 330	314	»	»	»	»
1866	430 778	79 705	510 483	310	»	»	»	»
1867	459 558	163 049	622 607	301	2 550	»	»	»
1868	499 489	250 081	749 570	282	7 225	»	7 225	566
1869	583 936	313 163	897 099	284	9 650	»	9 650	486
1870	586 000	399 153	985 153	319	34 000	»	34 000	463
1871	737 483	515 000	1 252 483	314	38 250	50 701	88 951	458
1872	905 930	381 064	1 286 994	380	94 070	149 786	143 856	500
1873	761 062	99 201	860 263	339	129 015	159 571	288 586	533
1874	584 469	7 796	592 265	362	144 944	100 515	245 459	421
1875	501 649	1 942	503 591	210	290 863	16 316	307 179	301
1876	467 168	287	467 451	187	412 461	»	412 461	269
1877	332 540	»	332 540	167	432 169	35	432 204	216
1878	322 890	»	322 8.0	165	550 938	10	550 948	207

Les droits d'importation sur les fers ont varié seulement depuis 1862 entre 60 et 70 francs par tonne pour le fer : sur l'acier, les droits ont été d'abord de 45 pour 100, puis de 140 francs par tonne. Les chiffres donnés dans ce tableau pour la fabrication de l'acier doivent être considérés comme rectifiant ceux inscrits au bas de la page 380, d'après une statistique moins exacte.

TABLEAU

De conversion des unités de mesure américaines en unités françaises.

1 pied	0,305	mètres.
1 pouce (1 douzième de pied)	25,415	millimètres.
1 yard (3 pieds)	0,915	mètres.
1 mille (5280 pieds ou 1760 yards)	1609	»
1 pied carré	0,093	mètres carrés.
1 acre	0,405	hectares.
1 pied cube	0,028	mètres cubes.
1 yard cube	0,766	» »
1000 pieds *board measure*	2,364	» »
1 gallon des États-Unis	3,785	litres.
1 gallon de New-York	3,624	»
1 bushel (boisseau) des États-Unis	35,235	»
1 » » de New-York	36.243	»
1 livre avoir du poids	0,453	kilogrammes.
1 quintal de 112 livres	50,8	»
1 tonne ordinaire de 2240 livres ou 20 quintaux	1016	»
1 tonne de 2000 livres	906	»
1 tonne à un mille	1,635	tonnes à 1 kilomètre.
1 livre par yard	0,496	kilogr. par mètre.
1 livre par pouce carré	0.07	kilogr. par centim. carré.
1 dollar (100 cents) au cours moyen	5	francs.
1 » par pied courant	16^{fr},40	par mètre.
1 » par mille	3^{fr},11	par kilomètre.
1 » par pied carré	53^{fr},76	par mètre carré.
1 » par acre	12^{fr},35	par hectare.
1 » par yard cube	6^{fr},53	par mètre cube.
1 » par 1000 pieds *board measure*	2^{fr},11	» »
1 » par gallon des Etats-Unis	1^{fr}.32	par litre.
1 » par bushel	0^{fr},14	»
1 » par livre	11^{fr},04	par tonne.
1 » par tonne ordinaire	4^{fr},92	»
1 » par tonne transportée à un mille	3^{fr},06	par tonne à 1 kilomètre.

FIN DU TOME PREMIER.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER

CONSTRUCTION

PREMIÈRE PARTIE

INFRASTRUCTURE.

EXEMPLES DE CONSTRUCTION DE PONTS :

DEUXIÈME PARTIE

SUPERSTRUCTURE.

TROISIÈME PARTIE

GARES, STATIONS ET SIGNAUX.

QUATRIÈME PARTIE

PRIX DE REVIENT.

ANNEXES

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

23233. — Typographie A. Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.